ISSN: 2306-9716 (Print)
ISSN: 2664-6110 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

4(49)

Видавничий дім
«Гельветика»
2023

УДК 502+504

Друкується за рішенням Вченої Ради
Державної екологічної академії післядипломної освіти
та управління (№ 2/23 від 26.04.2023 р.)
Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ 24703-14643Р від 19.01.2021 р.

Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2023. – № 4(49). – 254 с.

Головний редактор: Бондар О.І., доктор біологічних наук

Заступник головного редактора: Нагорнева Н.А.

Науковий редактор: Машков О.А., доктор технічних наук

Відповідальний редактор: Сікачина В.Г.

Редакційна колегія:

Гандзюра В.П., доктор біологічних наук
Єрмаков В.М., доктор технічних наук
Захматов В.Д., доктор технічних наук
Іващенко Т.Г., кандидат технічних наук
Коніщук В.В, доктор біологічних наук
Лукаш О.В., доктор біологічних наук
Машков В.А., доктор технічних наук
Михайленко Л.Є., доктор біологічних наук
Нецветов М.В., доктор біологічних наук
Ольшевський С.В., доктор технічних наук
Риженко Н.О., доктор біологічних наук
Рудько Г.І., доктор геолого-мінералогічних наук,
доктор географічних наук, доктор технічних наук
Улицький О.А., доктор геологічних наук
Фінін Г.С., доктор фізико-математичних наук
Шматков Г.Г., доктор біологічних наук

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1) журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі біологічних наук (091 – Біологія), природничих наук (101 – Екологія, 103 – Науки про Землю) та технічних наук (183 – Технології захисту навколишнього середовища).

Журнал публікує (після рецензування та редагування) статті, які містять нові теоретичні та практичні здобутки в галузі екологічних наук.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International
(Республіка Польща)

© Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2023

ЗМІСТ

ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ ВОЄННИХ ДІЙ……7

Бондар О.І., Загороднюк К.Ю., Новіков М.Г., Загороднюк Ю.В., Мошинський В.С., Филипчук В.Л., Гуляєв В.М. Про першочергові заходи з відновлення і модернізації систем водопостачання територій, що постраждали внаслідок воєнних дій (на прикладі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації воєнного характеру на Каховській ГЕС)……7

Магась Н.І., Хоренженко Г.В., Замуруєва К.М., Бешевець Ю.В., Риндюк С.І., Баркар В.Ю., Замрій М.В., Бондар М.В. Аналіз гідрологічної ситуації у Дніпровсько-Бузькій гирловій області, внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС……15

Чугай А.В., Чернякова О.І., Клімов І.О. Аналіз впливу військової діяльності в Україні на стан атмосферного повітря……26

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ……32

Корнюк А.В., Пацева І.Г. Цифровий моніторинг якості води, виклики та рішення……32

Крупєй К.С., Оверченко А.В. Фітотестування якості води у магістральному каналі на лівобережжі Херсонщини після підриву греблі Каховської ГЕС……38

Телюра Н.О., Ломакіна О.С., Лукашевич Д.С. Комплексний інноваційний підхід до оцінки територій, постраждалих внаслідок лісових пожеж……44

Шестопалов О.В., Тихомирова Т.С., Стаднік В.Ю. Екологічна оцінка хімічного складу дощових стічних вод на дитячих ігрових майданчиках м. Харків……52

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ……58

Дмитрієва О.О., Цапко Н.С., Мельнік Л.В., Ємельянов С.П. Використання пігментів фітопланктону щодо оцінювання ступеню евтрофування водних об'єктів……58

Дядін Д.В., Дрозд О.М., Свергуненко А.С. Індикатори чутливості водних ресурсів міських територій до зміни клімату……64

Рильський О.Ф., Домбровський К.О., Воронова Н.В., Горбань В.В., Дударєва Г.Ф., Притула Н.М. Екологічні аспекти формування біорізноманіття р. Мокра Московка……73

Сталінська І.В., Дмитренко Т.В. Рекомендації щодо зменшення екологічного ризику накопичувачів промислових стічних вод і шламів на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях……82

Яковлєв В.В., Дмитренко Т.В., Ліщина В.Д. Нові екологічно обґрунтовані конструкції водозаборів для централізованого водопостачання Харкова з використанням природних процесів очистки води……91

ЕКОЛОГІЯ І ВИРОБНИЦТВО……97

Ковров О.С., Красовський С.А., Сушко З.Л. Обґрунтування параметрів біологічної рекультивації відвалу шахти для зменшення викидів вуглепородного пилу в атмосферу……97

Лопушанська М.Р., Іванов Є.А. Гідрологічні чинники та їхня роль у розвитку відновлюваної енергетики у Львівській області……105

Наконечний І.В., Літвак О.А., Літвак С.М., Маринець О.М. Аналіз чинників, що впливають на процес біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами……114

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ……123

Коротецький В.П., Полятикіна О.О. Ефективність функціонування природно-штучного біомеліоративного комплексу (ПШБК) на водних об'єктах Кілійського міжрайонного управління водного господарства (КМУВГ)……123

Ткачук О.П., Вергеліс В.І. Наукове обґрунтування механізму зниження вмісту важких металів у ґрунті методом фіторемедіації бобовими багаторічними травами……131

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ……..138

Сорочинська О.Л. Екологічні проблеми зберігання та утилізації відходів на підприємствах транспорту……..138

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ……..144

Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Парадигма обробки інформації в інтелектуальної інформаційній системі для підтримки прийняття рішень в галузіекологічної безпеки……..144

Герасимчук Л.О., Валерко Р.А., Члек О.М., Миколайчук О.В., Муляр А.П. Фінансове забезпечення сфери охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області……..153

Строкаль В.П., Шевчук С.А. Затоплення та підтоплення територій: ризики для водної та продовольчої безпеки регіонального рівня……159

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ……171

Бургаз О.А., Бургаз М.І., Кротов С.А. Любительське рибальство як напрямок розвитку рекреаційної діяльності об'єктів природно-заповідного фонду України (на прикладі Нижньодністровського національного природного парку)……..171

Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю. Екологічна оцінка трансформованих екосистем у Карпатському регіоні……..177

Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г. Аналіз територіального розподілу об'єктів природно-заповідного фонду об'єднаних територіальних громад Коростенського району Житомирської області……186

Хоменко С.В., Тарасюк Г.М., Кірейцева Г.В., Демчук Л.І., Циганенко-Дзюбенко І.Ю. SWOT-аналіз рекреаційно-туристичного потенціалу Житомирської області……..194

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ……200

Іващенко І.В., Котюк Л.А., Бакалова А.В., Грицюк Н.В. Сезонні ритми розвитку *Serratula coronata* L. за культивування в Центральному Поліссі України……200

Котляр М.М., Калініченко О.О., Маслак В.І., Охмат О.А., Юнгін О.С. Вплив праймування метаболітами ріст-стимулювальних бактерій на розвиток рослин пшениці озимої……205

Красовський В.В., Козлов А.В., Черняк Т.В. Районування та умови дослідження субтропічних плодових культур на Полтавщині……211

Лукіша В.В., Мовчан М.М. Оцінка просторового поширення інвазійних деревних видів у бореальних лісах Середнього Придніпров'я……219

Степанов Є.В., Пасічник С.В. Аналіз впливу деяких мікроелементів ґрунту на концентрацію флавоноїду рутину у звіробої звичайному **(***Hypericum perforatum* Linneus, 1753)……226

ЗМІНА КЛІМАТУ……232

Федонюк В.В., Іванців В.В., Жадько О.А., Федонюк М.А. Порівняльний аналіз комфортності погоди протягом курортного сезону в національних природних парках Волинської області……232

Яковишина Т.Ф. Оцінювання зміни клімату протягом XX-го століття на прикладі техногенно ненавантаженої території Дніпропетровської області……238

ЕКОПУБЛІЦИСТИКА……246

Фінін Г.С. Екоцид: екологічний тероризм та його вплив на суспільну свідомість у форматі війни……246

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ……249

CONTENTS

ENVIRONMENTAL IMPLICATION OF MILITARY ACTIONS.....7

Bondar O., Zahorodniuk K., Novikov M., Zahorodniuk Yu., Moshynskyi V., Fylypchuk V., Huliaiev V. Priority measures for restoration and modernization of water supply systems of the territories damaged as a result of military actions (on the example of consequences liquidation of military emergency at Kakhovka hydro power plant).....7

Magas N., Khorenzhenko H., Zamuruieva K., Beshevets Yu., Ryndiuk S., Barkar V., Zamrii M., Bondar M. Analysis of the hydrological situation in the Dnipro-Bug estuary region following the destruction of the Kakhovka hydroelectric power station dam.....15

Chugai A., Chernyakova O., Klimov I. Analysis of the impact of military activities in Ukraine on the state of atmospheric air.....26

ENVIRONMENTAL MONITORING.....32

Korniiuk A., Patseva I. Challenges and solutions of the digital water quality monitoring.....32

Krupiei K., Overchenko A. Phytotesting of water quality in the main canal on the left bank of the Kherson region after the Kakhovka hydroelectric power station dam was blown up.....38

Teliura N., Lomakina O., Lukashevych D. A comprehensive innovative approach to assessing the areas affected by forest fires.....44

Shestopalov O., Tykhomyrova T., Stadnik V. Ecological assessment of stormwater chemical composition runoff from playgrounds in Kharkiv.....52

ECOLOGY OF WATER RESOURCES.....58

Dmitrieva O., Tsapko N., Melnik L., Emelyanov S. Use of phytoplankton pigments to assess the degree of eutrophication of water bodies.....58

Diadin D., Drozd O., Sverhunenko A. Indicators of sensitivity of water resources of urban areas to climate change.....64

Rylskyi O., Dombrovskyi K., Voronova N., Horban V., Dudaryeva G., Prytula N. Ecological aspects of the formation of biodiversity of the Mokra Moskovka river.....73

Stalinska I., Dmytrenko T. Recommendations for reducing the environmental risk of industrial wastewater and sludge storage facilities on the ecological state of surface water bodies in urbanized areas.....82

Yakovlev V., Dmytrenko T., Lishchina V. Newly designed environmentally sound water intake structures for the centralized water supply system in Kharkiv taking into account self-purification processes.....91

ECOLOGY AND PRODUCTION.....97

Kovrov O., Krasovskyi S., Sushko Z. Assessment of the efficiency of mine dump biological recultivation for reducing carbon-rock dust emissions into atmosphere.....97

Lopushanska M., Ivanov Ye. Hydrological factors and their role in the renewable development in the Lviv region.....105

Nakonechnyi I., Litvak O., Litvak S., Marynets O. Analysis of factors influencing the process of bioremediation of soils contaminated with oil products.....114

ECOLOGY AND ECONOMICS OF NATURAL RESOURCE USE.....123

Korotetskyi V., Polyatykina O. Efficiency of functioning natural and artificial biomeliorative complex (PSHBC) on the water facilities of the Kilia inter-district water management department (KMUVG).....123

Tkachuk O., Verhelis V. Scientific justification of the heavy metal content reduction mechanism in the soil by the phytoremediation method with perennial legumes.....131

WASTE MANAGEMENT.....138

Sorochynska O. Environmental problems of waste storage and disposal at transport enterprises.....138

GENERAL ENVIRONMENTAL SAFETY ISSUES.....144

Bondar O., Mashkov O., Prysiazhniy V., Ovodenko T., Pechenyi V. The paradigm of information processing in the intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety. 144

Herasymchuk L., Valerko R., Chlek O., Mykolaichuk O., Muliar A. Financial security of the sphere of environmental protection in the Zhytomyr region. 153

Strokal V., Shevchuk S. Flooding of Ukrainian territories: risks for regional water and food security. 159

NATURE RESERVE FUND OF UKRAINE.....171

Burhaz O., Burhaz M., Krotov S. Amateur fishing as a direction for the recreation activities development of the Ukraine nature and preserve fund objects (on the example of Lower Dnister National Nature Park). 171

Hafiiak O., Symochko L. Environmental assessment of transformed ecosystems in the Carpathian region. 177

Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I. Analysis of the territorial distribution of facilities of the natural reserve fund of the united territorial communities of the korosten district of the zhytomyr region. 186

Khomenko S., Tarasyuk G., Kireitseva H., Demchuk L., Tsyhanenko-Dziubenko I. SWOT-analysis of the recreational and tourist potential of the Zhytomyr region. 194

PRESERVATION OF BIOLOGICAL AND LANDSCAPE DIVERSITY.....200

Ivashchenko I., Kotiuk L., Bakalova A., Hrytsiuk N. Seasonal rhythms of plant development of *Serratula coronata* L. cultivated in Central Polissya of Ukraine. 200

Kotlyar M., Kalinichenko O., Maslak V., Okhmat O., Iungin O. Effect of priming with metabolites of growth-promoting bacteria on winter wheat plants development. 205

Krasovsky V., Kozlov A., Cherniak T. Zoning and conditions of research of subtropical fruit crops in Poltava region. 211

Lukisha V., Movchan M. Assessment of the spatial distribution of invasive tree species in the boreal forests of the Middle Dnieper region. 219

Stepanov Ye., Pasichnyk S. Analysis of the influence of some soil micro elements on the concentration of the flavonoid rutin in *Hypericum perforatum* (Linneus, 1753). 226

CLIMATE CHANGE.....232

Fedoniuk V., Ivantsiv V., Zhadco O., Fedoniuk M. Comparative analysis of weather comfort during the holiday season in the national natural parks of the Volyn region. 232

Yakovyshyna T. Climate change assessment during the 20th century using the example of technogenically unloaded territory of the Dnipropetrovsk region. 238

ENVIRONMENTAL JOURNALISM.....246

Finin H.S. Ecocide: ecological terrorism and its impact on public consciousness during war 246

AUTHORS' CREDENTIALS.....249

УДК 658.512.8:613:614
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.1

ПРО ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАХОДИ З ВІДНОВЛЕННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТЕРИТОРІЙ, ЩО ПОСТРАЖДАЛИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ (на прикладі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації воєнного характеру на Каховській ГЕС)

Бондар О.І.[1], **Загороднюк К.Ю.**[1], **Новіков М.Г.**[2], **Загороднюк Ю.В.**[2], **Мошинський В.С.**[3], **Филипчук В.Л.**[3], **Гуляєв В.М.**[4]
[1]Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
[2]Громадська організація «Фонд розвитку водоочисних технологій»
пр. Визволителів, 1, 02125, м. Київ
[3]Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, 33028, м. Рівне
[4]Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918, м. Кам'янське

Досліджені еколого-технічні особливості та означена ефективність використання окремих сучасних технологій для відновлення та модернізації водопостачання та водовідведення населених пунктів, що постраждали внаслідок воєнних дій, а також підриву російськими військами Каховської ГЕС. Після руйнування Каховської ГЕС відкрито кримінальне провадження за ознаками правопорушень, передбачених ч. 1 та ч. 2 ст. 438 (порушення законів та звичаїв війни), ст. 441 Кримінального кодексу України (екоцид). Окрім надання правової оцінки подіям, що вже відбулися, та докладання зусиль для забезпечення отримання компенсації завданої шкоди, не менш важливим аспектом є планування, оприлюднення (здійснення, за потреби, в тому числі і науково-просвітницької діяльності) та реалізація заходів з локалізації та ліквідації наслідків. Наразі в епіцентрі наслідків надзвичайної ситуації воєнного характеру – понад 200 населених пунктів на півдні України, де мешкають близько 1,4 млн. осіб. Пропозиції до планів та переліку заходів не одноразово розглядалися на нарадах та засіданнях різних рівнів у багатьох інституціях, у тому числі і в Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів України. Якщо не вживати своєчасно відповідних заходів, не відновлювати Каховське водосховище, екологічна ситуація в регіоні погіршуватиметься, постраждалі території очікує поступове опустелювання, а віддалені наслідки можуть поширитися на територіях Молдови, Румунії, Болгарії, Туреччини, Грузії (за результатами моделювання). Відновлення безпечного для життя та здоров'я людей довкілля, забезпечення умов для підтримання належного рівня санітарно-епідеміологічного стану на постраждалих територіях, що може тривати багато років, і, отже, без доступу до безпечної питної води, постійного стабільного водозабезпечення, яке необхідно здійснити в першу чергу, просто унеможливлюється. У праці загострена увага щодо першочергових заходів з відновлення та модернізації водопостачання постраждалих територій на засадах раціонального використання природних ресурсів. *Ключові слова:* технології, принципи BAT та BEP, системні недоліки та шляхи їх усунення, інфраструктурна автономність, кліматична нейтральність.

Priority measures for restoration and modernization of water supply systems of the territories damaged as a result of military actions (on the example of consequences liquidation of military emergency at Kakhovka hydro power plant). Bondar O., Zahorodniuk K., Novikov M., Zahorodniuk Yu., Moshynskyi V., Fylypchuk V., Huliaiev V.

Ecological and technical features were studied, effectiveness of certain modern technologies usage for restoration and modernization of water supply and drainage of settlements damaged as a result of military actions as well as undermining of Kakhovka hydro power plant by russian troops was determined.

After destruction of Kakhovka hydro power plant criminal proceedings were opened grounding on offenses provided in Part 1 and Part 2 of Art. 438 (violation of the laws and customs of war), Art. 441 of the Criminal Code of Ukraine (ecocide). In addition to legal assessment of events that have already taken place and making efforts to ensure compensation for caused damage, equally important aspect is planning, publicizing (conducting, if it is necessary, scientific and educational work with population as well) and implementing measures on localization and elimination of consequences. Currently, more than 200 settlements in the south of Ukraine, place for accommodation to about 1.4 millions of persons, are at the epicenter of consequences of war time emergency. Proposals for plans and lists of measures were considered many times at meetings and other events of various levels, in various institutions, including the Ministry for Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. If measures are not taken and Kakhovka reservoir is not restored, ecological situation will worsen, the already affected areas will be gradually deserted, and distant consequences will spread to the territory of Moldova, Romania, Bulgaria, Turkey, Georgia (according to modeling results). Restoration of safe for life

and health environment, conditions for appropriate level of sanitary-epidemiological well-being reliable maintenance provisions on the territories that have already been affected, will last for many years and is simply impossible without access to safe drinking water, constant stable water supply, what must be ensured first of all. The article provides list of first priority measures for water supply restoration and modernization of victimed as the result of emergency situation of military character, ecocide, Kakhovka hydro power plant war crime, territories based on natural resources' rational use principles. *Key words:* technologies, BAT and BEP principles, system deficiencies and ways of their elimination, infrastructure autonomy, climate neutrality.

Постановка проблеми, актуальність. На сьогодні найгострішою надзвичайною ситуацією воєнного характеру в Україні є руйнування Каховської ГЕС, довгострокові наслідки якого можна порівняти із наслідками вибуху тактичного ядерного заряду потужністю 10-20 кілотонн без радіоактивного забруднення територій.

Отже, розроблення відповідних планових заходів для розв'язання соціальних проблем, усунення екологічних загроз, пов'язаних з руйнацією ГЕС, має грунтуватися на всебічних, детальних дослідженнях, і, перш за все, екологічних, що здійснюватимуться по закінченню бойових дій. Проте ситуація, що склалася нині на постраждалих територіях, особливо щодо забезпечення людей якісною питною водою, відновлення систем водопостачання населених пунктів, потребує оперативного реагування.

Аналіз існуючого стану. В основі чинних нині підходів до водопостачання в Україні лежить централізоване забезпечення населення водою господарсько-питного призначення в обсязі діючих норм на питні та господарські потреби, якість якої відповідає загальним гігієнічним вимогам: безпечність в епідеміологічному, токсикологічному, радіаційному відношеннях, сприятливі органолептичні властивості, оптимальний мінеральний склад [1, 6].

У вищеозначеному сенсі підземні води є пріоритетними, проте їхні запаси, склад та властивості не завжди дозволяють їх широке використання (одночасно для питних, технічних (промислових), господарських (в тому числі й для зрошення) потреб).

Так, до початку неспровокованої агресії росії проти нашої незалежної держави водопостачання 80% населення України (вода на господарсько-питні потреби) здійснювалося з поверхневих джерел. Разом з тим, в Херсонській області (на сьогодні найбільш постраждалій від наслідків надзвичайної ситуації військового характеру на Каховській ГЕС) за статистичними даними наявні до початку широкомасштабної війни росії проти України підземні водозабори забезпечували на господарсько-питні потреби близько половини від загального використання води.

Як наслідок, від руйнування дамби Каховської ГЕС значна кількість свердловин були затоплені й тому потребують відновлення їхніх експлуатаційних характеристик. Однак, нині найбільш негативний вплив руйнівних наслідків відбивається на функціонуванні водопровідних очисних споруд (ВОС). Існує загроза виникнення та подальшого неконтрольованого розвитку надзвичайної екологічної та епідеміологічної ситуації, що загрожує національній безпеці країни.

До процесів очищення дніпровської води, що знайшли своє технологічне відображення на діючих ВОС, проте протікають незадовільно (проблемні процеси), варто віднести й такі, що впливають на зміни фазово-дисперсного стану та знешкодження домішок [2, 9, 15].

Чинники, що перешкоджають забезпеченню належного протікання вищезазначених процесів, обумовлені:

– наявністю у дніпровській воді, особливо у середній та нижній течіях річки, значної кількості колоїдних домішок з гідрофільними властивостями, які погано коагулюють, тобто "злипаються" у більш крупні агрегати, внаслідок чого коагуляція зависі протікає дуже повільно й неефективно навіть за значних доз стандартних коагулянтів;

– значними коливаннями температури води;

– "цвітінням" води.

Окрім того, під час первинного хлорування дніпровської води з метою переведення зависі з гідрофільною поверхнею у частинки з гідрофобною поверхнею, що значно ліпше коагулюють при введенні стандартних коагулянтів, відбувається утворення проміжних небезпечих продуктів (хлороформу, дихлорметанів тощо), а бар'єрна ефективність по відношенню до специфічних органічних забруднювачів (нафтопродуктів, фенолів та ін.), що часто потрапляють у водні джерела внаслідок різноманітних аварійних ситуацій, а також радіонуклідів, які потенційно можуть потрапити у воду внаслідок воєнних дій, є недостатньою.

Процеси розподілу фаз, тобто відділення зависі від водної фази, не є проблемними, оскільки існуючі очисні споруди, в основному, – гідравлічно недовантаженні, що позитивно впливає на ефективність функціонування відстоювання та фільтрування.

Одним із основних джерел забруднення поверхневих вод басейну Дніпра, Сіверського Донця, Південного Бугу, Дністра та інших малих річок стійкими хлорорганічними сполуками залишаються промивні води швидких фільтрів водопровідних очисних станцій [3, 15].

Зважаючи на те, що на промивання забруднених швидких фільтрів витрачається 5-10% води, яка пройшла повний цикл очищення, в тому числі оброблення хлором та коагулянтами, щороку в річки басейну Дніпра, Сіверського Донця, Південного Бугу, Дністра та інші малі річки скидається понад 7000 тон стійких хлорорганічних

сполук, майже 10000 тон хлориду або сульфату алюмінію, низка інших небезпечних для довкілля забруднювачів.

За основними показниками, наведеними у таблиці, склад та властивості промивних вод швидких фільтрів відносно сталі (характерні для всіх ВОС).

Вміст хлору, летких галоген органічних сполук, стійких хлорорганічних сполук, сульфатів та хлоридів у промивних водах швидких фільтрів коливається в широких межах та залежить від багатьох факторів, однак, умовно можна стверджувати, що припинення скиду промивних вод швидких фільтрів, які (промивні води) не проходять жодного очищення перед скидом, унеможливить надходження до водних об'єктів близько 20-25 г стійких хлорорганічних сполук та 35-40 г хлориду або сульфату алюмінію на кожен кубічний метр поданої кінцевому споживачу води з поверхневого джерела господарсько-питного водопостачання, що пройшла конвенційну водопідготовку.

На даний час на стан речей у системах водопідготовки питної води із поверхневих джерел (частково описаний вище) накладаються також негативні процеси, пов'язані з руйнуванням Каховської ГЕС. Так, в результаті аварії можливе значне погіршення якості води у р. Дніпро, що використовується для забезпечення водопостачання. Поряд із значним підвищенням каламутності, кольоровості, бактеріального забруднення можливе значне погіршення якості води внаслідок змиву поверхневих забруднень з грунту (нафтопродуктів, залишків мінеральних та органічних добрив); потрапляння у водотік вмісту вигрібних ям, нечистот з резервуарів, що вийшли з ладу; припинення функціонування каналізаційних очисних споруд, інших сторонніх мінеральних та органічних домішок; взмучування осаду потоком дніпровської води; можливого розмиву місць захоронень твердих та органічних відходів.

Отримані оперативним шляхом дані дозволяють говорити про необхідність термінового вжиття заходів, які умовно можна розділити на дві групи: невідкладні та першочергові заходи.

Обгрунтування вибору заходів з відновлення та модернізації водопостачання постраждалих територій. Заходи з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації воєнного характеру на Каховській ГЕС, власне, як і заходи з відновлення і модернізації водопостачання та водовідведення територій, що постраждали внаслідок воєнних дій, мають спрямовуватися на досягнення інфраструктурної автономності та кліматичної нейтральності населеними пунктами, мати плановий, послідовний характер, реалізовувати загальносвітові та загальноєвропейські концептуальні підходи сталого розвитку, гарантувати стримування пандемії COVID-19 та розповсюдження інших інфекційних захворювань вірусної та бактеріальної природи, що передаються водним шляхом [4, 6].

Технології відновлення експлуатаційних характеристик водозабірних свердловин, що знайшли широке використання в Україні до початку неспровокованої повномасштабної військової агресії росії, в основному спрямовані на збільшення дебіту, але не на поліпшення якості води, потребують виведення з прямого використання свердловини до промивання на досить тривалий час (календарний місяць і більше), не передбачають видалення кольматантів з прилеглого водоносного пласту та не гарантують знезараження прилеглого водоносного пласту, зменшення енерговитрат на роботу водопідйомного обладнання після повернення в експлуатацію.

Головне завдання експлуатації водозабірних свердловин – забезпечення безперебійної гарантованої подачі споживачам води потрібної кількості та якості з мінімально можливими затратами.

За результатами комплексної оцінки, що базується на даних багаторічних досліджень (проведені визнаними міжнародними зарубіжними та вітчизняними дослідниками), а також практичного досвіду, науковці Державної екологічної академія післядипломної освіти та управління проаналізували експлуатаційні особливості та ефективність використання технологій, розроблених на основі концепції подвійного поліпшення якості виробництва – економічної та екологічної, що базуються на принципах BAT (Best

Таблиця 1

Орієнтовний вміст у промивних водах швидких фільтрів окремих забруднюючих речовин, скид яких у водні об'єкти підлягає оподаткуванню відповідно до ставок, прописаних у статті 245.1 податкового кодексу України

№ з/п	Найменування забруднюючої речовини	Одиниці вимірювання	Значення показника, M±m
1.	Азот амонійний	мг/дм^3	0,1767 ± 0,00153
2.	БСК$_5$	мг O_2/дм^3	1,02980 ± 0, 001652
3.	Завислі речовини	мг/дм^3	8,82177 ± 0,008238
4.	Нафтопродукти	мг/дм^3	н.ч.м.*
5.	Нітрати	мг/дм^3	0,8957 ± 0,00116
6.	Нітрити	мг/дм^3	0,0743 ± 0,00208
7.	Фосфати	мг/дм^3	0,1727 ± 0,00058

* Примітка. н.ч.м. – нижче чутливості методу.

Available Techniques) та BEP (Best Environmental Practices). Однією з них – технологія "SiProWeR" ("Single Process for Wells' Rehabilitation") – одно-процесний (з технологічної точки зору – перекачування рідин) реагентний спосіб одночасного промивання та знезараження водопідйомних конструкцій та обладнання, прилеглого водоносного пласту без будь-яких попередніх демонтажних робіт.

Технологія "SiProWeR" належить до реагентних методів, яким у відповідності до Американських та Європейських рекомендацій, що базуються на принципах ризик орієнтованих підходів, слід надавати перевагу через оптимальні баланси (технологічний, економічний, екологічний) при їх використанні на противагу промиванню фільтрів свердловин під тиском, використання електрогідравлічних ударів, пневмоімпульсних методів тощо, ефективність яких або занизька, або можливі негативні наслідки превалюють над отримуємими ефектами, що можуть вважатися позитивними.

Технологія "SiProWeR" базується на взаємодії складових кольматантів з розчинами реагентів групи GO2: оксиданти або їх суміші та групи SeaQuest (СПС-6): антикорозійно-стабілізаційні комплексоутворювачі і ліганди різної ємності або їх суміші, водою альтернативного джерела, які подаються через єдиний спеціальний технологічний отвір (без демонтажу обладнання) в міжтрубний простір у двох режимах, що забезпечує розчинення з подальшим хелатування мінеральних компонентів, адсорбцію забруднювачів, в тому числі і органічних, на твердій фазі системи з сильно розвиненою поверхнею розподілу, дисперсійне середовище якої представлене молекулами води, стабілізацію утвореної дисперсійної системи, а також окислення компонентів, які виокремлюються із складу вищезазначеної дисперсійної системи, знезараження та подальше утворення мономолекулярної антикорозійної плівки, яка (взаємодія) може бути доведена до повної саморегуляції фізико-хімічних перетворень та інших процесів.

Вищезазначене забезпечує видалення "сміття", кольматантів, підвищення дебіту або зменшення енерговитрат на роботу водопідйомного обладнання, поліпшення якості отримуваної води до значень показників складу та властивостей, характерних для відповідної свердловини на момент введення її у експлуатацію, гарантоване знезараження водопідйомного обладнання та прилеглого водоносного пласту.

Технологія "SiProWeR" відрізняється від інших відомих реагентних методів саморегулюючими механізмами ініціювання, протікання, інгібування послідовних хімічних реакцій при забезпеченні подачі необхідних об'ємів води альтернативного джерела водопостачання та за умови правильного підбору реагентів, визначення їх доз, концентрацій робочих розчинів, тривалості другого режиму подачі в індивідуальному порядку для кожної конкретної свердловини.

Необхідні об'єми розчинів реагентів та води альтернативного джерела, а також час контакту та подальшого відкачування води залежать від характеру та ступеню "засмічення", закольматованості фільтра та прифільтрової зони водоносного пласта, ступеню їх мікробного обсіменіння.

Орієнтовні кількості становлять: близько 400-800 дм^3 розчину GO2 та 200-400 дм^3 розчину SeaQuest (СПС-6), які разом з 2,2-4,4 м^3 води альтернативного джерела закачуються у свердловину. Після забезпечення близько 12 годин контакту здійснюється відкачування води з свердловини впродовж наступних 12-24 годин.

Отже, тривалість основного технологічного циклу складає до 36 годин. Також потрібен час на організаційно-підготовчі роботи протягом яких також може виникнути необхідність виведення свердловини із експлуатації. При цьому тривалість виведення окремо взятої свердловини із експлуатації при використанні технології "SiProWeR" є щонайменше в десять разів меншою у порівнянні з технологіями електрогідравлічних ударів, пневмоімпульсними методами, способами, що передбачають демонтаж та приєднання по завершенню процедури промивки та знезараження оголовку та введення в експлуатацію свердловини (тривалість таких операцій зазвичай складає 30 і більше діб).

Головні переваги технології "SiProWeR":

– виконання технологічних робіт без демонтажу оголовку лише за 72 години (виведення свердловини з експлуатації на термін не більший ніж 72 години);

– подача до міжтрубного простору у двох режимах реагентів диспергуючої, адсорбуючої, стабілізуючої та окислюючої дій, води альтернативного джерела;

– видалення кольматантів, забруднювачів висхідним потоком води, що забезпечує підвищення дебіту, зменшення енерговитрат на роботу водопідйомного обладнання;

– поліпшення якості отримуваної води до значень показників складу та властивостей, характерних для відповідної свердловини на момент введення її в експлуатацію;

– належне знезараження водопідйомних конструкцій, водопідйомного обладнання та прилеглого водоносного пласту.

Ефективність яких при використані даного способу є найвищою з-поміж усіх відомих на сьогодні способів/методів обслуговування та/чи відновлення свердловин на воду.

Технологію "SiProWeR" можна комбінувати з телеметрією свердловин на воду та використанням ультразвуку. Будь-які інші комбінаціє є небажаними.

Зважаючи на реалії сьогодення, – нині на першому плані (хоча і не можна зовсім відкидати питання економії ресурсів) виходить питання гарантованого знезараження, що забезпечує з усіх відомих тільки технологія "SiProWeR".

В рамках творчої співпраці науковців та профільних фахівців Національного університету водного господарства та природокористування, Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, громадської організації "Фонд розвитку водоочисних технологій" (ГО ФРВТ), що об'єднує як українських спеціалістів-практиків галузі водозабезпечення, так і професіоналів з США, Ізраїлю, Німеччини, Польщі, розроблено інноваційну технологію реагентного очищення та знезараження води з високим ступенем надійності НЕОТРОн. Впровадження технології НЕОТРОн регламентується затвердженими Методичними вказівками "Невідкладні та першочергові заходи з відновлення і модернізації водопостачання та водовідведення територій, що постраждали внаслідок воєнних дій та збройних конфліктів. Комплексні протиепідемічні заходи в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру".

Технологія "НЕОТРОн" ("Неокласична технологія реагентного очищения та знезараження води з високим ступенем надійності") – це спосіб одержання води питної якості, що базується на новій схемі поєднаного використання препаратів на основі діоксиду хлору та флокулянтів із знезаражуючими властивостями на основі поліелектролітів у процесах підготовки природних маломутних кольорових вод, яка передбачає організацію рециркуляції осаду, суворо по внутрішньому або по зовнішньому контуру водоочисних споруд для стабілізації гідравлічних умов протікання процесів коагуляції та флокуляції, що суттєво підвищує як ефективність використання кожного окремо взятого препарату, так і ефективність очищения та знезараження води, що проходить обробку в цілому, шляхом усунення можливих недоліків роздільного застосування вищезазначених реагентів, а також системних проблем самих ВОС.

Впровадження та використаюгя технології "НЕОТРОн" в умовах НС обумовлено [2]:

– особливими еколого-гігієнічними проблемами поверхневих джерел питного водопостачання;

– неможливістю функціонування існуючих капітальних водоочисних споруд в звичайному режимі;

– неефективністю, часто неможливістю, використання традиційних реагентів: коагулянтів, хлору, гіпохлориту натрію.

Головні переваги технології "НЕОТРОн" :

– економія мінімум 5-10% витрат на підготовку води господарсько-питного призначення, в першу чергу, за рахунок економії електроенергії;

– зменшення кількостей хлору та/чи гіпохлориту натрію (у разі продовження їх використання) або заміна рідкого хлору та/чи гіпохлориту натрію в технологічних циклах водопідготовки на більш екологічно безпечні альтернативні реагенти в тому числі і зі знезаражуючими властивостями (безхлорні технології водопідготовки);

- комплексне використання препаратів на основі діоксиду хлору та флокулянтів із знезаражуючими властивостями на основі поліелектролітів у процесах підготовки природних маломутних кольорових вод, що суттєво підвищує ефективність їх очищения;

– гарантована безпечність очищеної води в епідемічному відношенні, в першу чергу по відношенню до збудників вірусних, протозойних та особливо небезпечних інфекційних хвороб при комплексному використанні препаратів на основі діоксиду хлору та флокулянтів із знезаражуючими властивостями на основі поліелектролітів;

– зменшення або повна ліквідація скидів промивних вод швидких фільтрів;

– "фасилітація" використання сухих порошкоподібних сорбентів та мокрого дозування сорбентів на основі глинистих матеріалів на існуючих наявних ВОС без збільшення об'ємів промивних вод швидких фільтрів;

– отримання, за рахунок інтенсифікації процесів першого ступеня очищення, питної води, якість якої відповідає вимогам стандартів ЄС та ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Умовно можна стверджувати, що переоснащення освітлювачами рециркуляторами з рециркуляцією осаду по «внутрішньому контуру» підвищує продуктивність ВОС та поліпшує якість очищеної води за основними забруднювачами. Отже, окрім прямого економічного ефекту, одержуємо непрямий економічний ефект.

Ефективність очищення поверхневих вод, зокрема, і від мікроорганізмів на діючих водоочисних спорудах (ВОС), у тому числі Деснянській та Дніпровській водопровідних станціях ПрАТ "АК "Київводоканал", більше ніж на 80% залежить від ефективності та повноти протікання процесів коагуляції-флокуляції. В МВ передбачено комплексне поєднане використання препаратів на основі діоксиду хлору та флокулянтів із знезаражуючими властивостями на основі поліелектролітів, що усуває можливі недоліки їх роздільного або неконтрольованого застосування [2].

Листом № 2471/17/36/02-22 від 29.08.2022 року ПрАТ "АК "Київводоканал" повідомляє, що у 2017-2020 роках були проведені лабораторні та промислові випробування діоксиду хлору для знезараження води на Деснянській та Дніпровській водопровідних станціях. Результати проведених випробувань засвідчили його ефективність за певних умов використання для первинного окислення та вторинного знезараження вод з поверхневих джерел водопостачання. З липня 2020 року на Дніпровській водопровідній станції для знезараження питної води використовується діоксид хлору. Також були здійснені лабораторні випробування дії поліелектроліту ПГМГ-ГХ. Отримані результати випробувань засвідчили його ефективну знезаражувальну та флокулюючу дію.

06.12.2022 року Державним підприємством "Національні інфраструктурні проекти" Міністерства економіки України були отримані висновки Міністерства розвитку громад та територій (Мінрегіон), які, з-поміж іншого, підтверджують тезу, що виконання вищезазначених Методичних вказівок є функцією та обов'язком підприємств водопровідно-каналізаційного господарства (ВКГ) кожного міста, населеного пункту.

Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 77 від 13.01.2023 року (зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 січня 2023 року за № 181/39237) внесено зміни до Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення [5]. Зокрема, таблиця 1 "Граничні норми вмісту хімічних речовин у воді водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення" Додатку 2 вищезазначених Гігієнічних нормативів доповнена новою позицією 988, що встановлює ГДК у 0,1 мг/дм^3 для ПГМГ-ГХ (діючої речовини препарату Мікростат).

Виробничі програми контролю якості очищеної води, що подається кінцевим споживачам, в тому числі і ПрАТ "АК "Київводоканал", мають не більше 5% від переліку таблиці 1 Додатку 2 Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення зі змінами та доповненнями. Також передбачені технологічні параметри, контроль яких опосередковано додає упевненості, згідно з прийнятими в Україні сучасними науковими підходами, наприклад, щодо епідемічної безпеки питної води, призначеної для споживання людиною, показники їх складу та властивостей. На думку авторів відповідних нормативних документів, висвітлена вище ситуація є цілком прийнятною для забезпечення належного санітарно-епідеміологічного благополуччя населення.

Разом з тим звертає на себе увагу той факт, що у ДСанПіН 2.2.4-171-10 [6] визначено норматив (величину) для вмісту залишкових кількостей активного хлору у питній воді, призначеній для споживання людиною. При цьому у відповідності до юстованих гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення його вміст у воді вищезазначених водних об'єктів взагалі не допускається, а скид неочищених промивних вод швидких фільтрів водопровідних очисних станцій, що завжди містять залишковий активний хлор, відбувається. Вміст діоксиду хлору у воді водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення просто не нормується, хоча у питній воді, призначеній для споживання людиною, його вміст має бути не меншим за 0,1 мг/дм^3.

Беручи до уваги вищевикладене стає очевидним, що вживання питної води, призначеної для споживанню людиною, вміст у якій окремо взятих речовин є вищим за їх вміст у воді водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення, є необхідністю.

Отже, є речовини, вміст яких у питній воді (для забезпечення її безпечності та якості, відповідності загальним гігієнічним вимогам (п. 3.1 ДСанПіН 2.2.4-171-10)) має бути вищим, ніж у стічних водах [6].

Наведені факти засвідчують, що відповідно до прийнятих нині наукових підходів вміст у воді, що подається кінцевим споживачам, окремо взятих речовин, які використовуються для її очищення, знезараження допускається вищим, ніж їхній вміст у воді водних об'єктів.

Не є винятком і діюча речовина препаратів групи Мікростат – ПГМГ-ГХ, що маєі як флокулюючі, так і знезаражуючі властивості [7, 8, 9, 10]. Так, зокрема, відповідно до даних токсикологічного-гігієнічного паспорту на ПГМГ-ГХ (ЕКОГІНТОКС) від 14.12.1998 року, висновків державної санітарно-епідеміологічної експертизи (наприклад, № 602-123-20-5/36572 від 28.08.2018 року), безпечною (за токсикологічною ознакою шкідливості) у питній воді є концентрація 1,0 мг/дм^3 [11, 12].

У відповідності до законодавства України нормативні документи подібного характеру, в тому числі і ДСанПіН 2.2.4-171-10 мають переглядатися та, за потреби, доповнюватися та/чи змінюватися не рідше ніж один раз на 10 (десять) років. Для унеможливлення подальших всіляких некомпетентних трактувань, інсинуацій та корупційних ризиків Міністерство охорони здоров'я має взяти на контроль обов'язковість внесення у ДСанПіН 2.2.4-171-10 (під час наступного чергового перегляду документу не пізніше 2030 року) ГДК для ПГМГ-ГХ – основної діючої речовини перспективної групи препаратів, які по факту успішно використовуються у нашій державі щонайменше 25 років. До того часу, на думку фахівців, підприємствам ЖКГ нічого не заважає широко використовувати флокулянти із знезаражуючими властивостями, безхлорні дезінфектанти, інгібітори корозії, комплексні препарати, зокрема групи Мікростат, на базі вищезазначеної основної діючої речовини.

Також для стабілізації гідравлічних умов протікання процесів коагуляції та флокуляції методичними вказівками визначено необхідність організації рециркуляції осаду, що забезпечується шляхом застосування рециркуляторів із рециркуляцією осаду по внутрішньому або по зовнішньому контурах водоочисних споруд [2].

У прояснювачах із шаром завислого осаду рециркуляцію пластівців необхідно виконувати в робочих камерах, а в схемах з відстійниками – в зашламованих камерах утворення пластівців. Це забезпечується рециркуляцією пластівців шляхом їх ежекції у воду, що очищується, в так званий «внутрішній контур», тобто не виводячи за межі існуючих спо-

руд, шляхом дообладнання існуючих споруд апаратами для рециркуляції пластівців по «внутрішньому контуру» [2, 13, 15].

Описане технічне рішення забезпечує змогу реалізації контактної коагуляції у два етапи. На першому – мінеральні та органічні домішки, що мають бути видалені із води, адсорбуються на поверхні контактного середовища, яке утворюється за рахунок введення коагулянтів та флокулянтів. Процес адсорбції повністю завершується на другому етапі, коли утворене контактне середовище вступає у взаємодію із раніше утвореними пластівцями, які знаходяться у завислому шарі [13, 14, 15].

Реалізація такого двоетапного режиму контактної коагуляції збільшує втрати напору потоку води не більше, ніж на 15-20 см водного стовпчика, що дозволяє здійснювати модернізацію існуючих очисних споруд без змін їх висотного розташування на майданчиках водоочисних станцій та із мінімальними затратами [2, 15]. А також, за відповідного обгрунтування :

– відмовитися від первинного хлорування, зменшити на 80% витрати хлору, гіпохлориту натрію або їх замінника на етапі первинного окислення та на 50% витрати коагулянту в технологічних циклах водопідготовки;

– зменшити або зовсім ліквідувати скиди промивних вод швидких фільтрів, забруднених хлорорганічними сполуками;

– отримувати питну воду, що відповідає вимогам стандартів ЄС та ДСанПіН 2.2.4-171-10, навіть після першого ступеня очищення;

– економити 5-10% витрат на підготовку питної води.

Висновки та рекомендації. Підсумовуючи вищевикладене, рекомендуємо

віднести до невідкладних заходів:

1. Забезпечення комунальних підприємств та населення безхлорними дезінфектантами для знезараження питної води, стічних вод, вмісту вигрібних ям тощо.

2. Забезпечення населення постраждалих територій індивідуальними безнапірними (самотічними) фільтрами, здатними очищувати воду від збудників бактеріальних та вірусних інфекційних захворювань.

До першочергових заходів необхідно віднести:

1. Встановлення системи захисних завіс у вигляді полімерних сіток із поплавками та пригрузами для локалізації забруднень та захисту акваторії Дніпра та Чорного моря від некерованого розповсюдження забруднень та утворення екологічно небезпечних зон. В середині обмежених сітками просторів здійснити обробку води препаратом групи Мікростат (з урахування встановленої гранично допустимої концентраці (ГДК) у воді водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ-ГХ) – діючої речовини препаратів групи Мікростат (Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 77 від 13.01.2023 року (зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 січня 2023 року за № 181/39237)).

2. Переобладнання вцілілих та працюючих водоочисних станцій рециркуляторами із "рециркуляцією пластівців по внутрішньому контуру", що дозволять гарантовано очищувати воду, забруднену донними осадами, змивами із доріг, прибудинкових територій, сміттєзвалищ та вигрібних ям тощо до якості води питної, призначеної для споживання людиною без підвищення витрат коагулянтів і флокулянтів.

3. Забезпечення населених пунктів, які втратили водозабори на Каховському водосховищі, але мають неподалік інші джерела, придатні для організації водозаборів модульними пересувними водоочисними установками МП-ВОС-5000 контейнерного типу потужністю від 50м^3 до 5000 м^3 на добу на базі гнучких резервуарів.

4. Організацію на існуючих головних каналізаційних насосних станціях глибинно-напірної аерації шляхом дообладнання вбудованими біореакторами на базі ежекторів повітря.

5. Промивку та знезараження водоносних пластів артезіанських свердловин, що знаходилися в зоні затоплення.

Проведення запропонованих заходів дозволить:

1. Забезпечити протиепідемічний захист населення, попередити можливість виникнення епідемій бактеріальних та вірусних захворювань.

2. Забезпечити захист навколишнього середовища від впливу недостатньо очищених або зовсім неочищених стічних вод та вмісту вигрібних ям.

3. Забезпечити локалізацію забруднень та захист акваторії Дніпра та Чорного моря від некерованого розповсюдження забруднень та утворення екологічно небезпечних зон.

4. Гарантовано очищувати воду, забруднену донними осадами, змивами із доріг, прибудинкових територій, сміттєзвалищ та вигрібних ям тощо до якості води питної, призначеної для споживання людиною, без підвищення витрат коагулянтів, флокулянтів і дезінфектантів.

5. Забезпечити питною водою в найкоротші терміни населення громад, які втратили водозабори на Каховському водосховищі, але мають неподалік інші джерела придатні для організації водозаборів.

Література

1. ДБН В.2.5-74 Водопостачання. Зовнішні мережи та споруди. Основні положення проектування.
2. Методичні вказівки "Невідкладні та першочергові заходи з відновлення і модернізації водопостачання та водовідведення територій, що постраждали внаслідок воєнних дій та збройних конфліктів. Комплексні протиепідемічні заходи в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру".

3. Методичні рекомендації “Методичні рекомендації відновлення і модернізації водопостачання та водовідведення територій, що постраждали внаслідок збройного конфлікту, шляхом запровадження заходів з застосуванням Препарату Мікростат™ (ТУ У 20.1-41972832-002:2020)”.
4. Методичні вказівки “Невідкладні та першочергові заходи з відновлення і модернізації водопостачання та водовідведення територій, що постраждали внаслідок воєнних дій та збройних конфліктів. Комплексні протиепідемічні заходи в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Застосування Препарату Мікростат™. Суміш полі- та низькомолекулярних електролітів, виготовленого за ТУ У 20.1-41972832-002:2020 на фізико-хімічних етапах технологічних процесів очищення та знезараження стічних вод”.
5. Наказ Міністерства охорони здоров’я України № 77 від 13.01.2023 року (зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 січня 2023 року за № 181/39237).
6. ДСанПіН 2.2.4 – 171 – 10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».
7. ТУ У 20.1-41972832-002:2020 «Препарат “Мікростат™”. Суміш полі- та низькомолекулярних електролітів».
8. Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 12.2-18-2/8281 від 16.04.2020 року.
9. Інструкція – Методичні вказівки щодо застосування «Препарату “Мікростат™”. Суміш полі- та низькомолекулярних електролітів» (марки А-ГХ, Б-ГХ, В-ГХ, А-ГХ+Ф, Б-ГХ+Ф), за ТУ У 20.1-41972832-002:2020, із застосуванням «Препарату “Мікростат™”. Суміш полі- та низькомолекулярних електролітів» (марки А-ГХ, Б-ГХ, В-ГХ, А-ГХ+Ф, Б-ГХ+Ф) у процесах підготовки питної води, в тому числі і для систем централізованого питного/господарсько-питного водопостачання, в комунальному теплопостачанні (котельні, бойлерні установки, градирні, теплові мережі).
10. Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 12.2-18-5/8394 від 17.04.2020 року.
11. Токсиколого-гігієнічний паспорт на полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (ЕКОГІНТОКС) від 14.12.1998 року.
12. Висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи № 602-123-20-5/36572 від 28.08.2018 року.
13. Пат. 52170 Україна. Спосіб очищення маломутних кольорових вод / заявники та патентовласники: Загороднюк К. Ю., Новіков М. Г., Омельчук С. Т., Бозиєв М. Ш., Григор’єв О. А., Жуков І. І., Загороднюк Ю. В., Лимаренко О. Є., Нефьодов Ю. І., Нікулін М. І. № u201004647; заявл. 19.04.10; опубл. 10.08.10, Бюл. № 15.
14. Патент на КМ 152400. Спосіб очищення поверхневої малокаламутної забарвленої води / заявники та патентовласники: Загороднюк Ю.В, Мошинський В.С., Новіков М.Г., Филипчук В.Л., Загороднюк К.Ю. Опубл. 25.01.23, Бюл. № 4.
15. Загороднюк К. Ю. Гігієнічна оцінка використання природних та модифікованих сорбентів у новій технології очистки поверхневих вод для централізованого господарсько-питного водопостачання : дис. … канд. мед. наук : 14.02.01; Нац. мед. ун-т ім. О. О. Богомольця. К., 2012. 262 арк. : табл. Бібліогр.: арк. 205–219.

УДК 504.05
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.2

АНАЛІЗ ГІДРОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ У ДНІПРОВСЬКО-БУЗЬКІЙ ГИРЛОВІЙ ОБЛАСТІ, ВНАСЛІДОК РУЙНУВАННЯ ГРЕБЛІ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Магась Н.І.[1], **Хоренженко Г.В.**[2], **Замуруєва К.М.**[2], **Бешевець Ю.В.**[1,2], **Риндюк С.І.**[2], **Баркар В.Ю.**[2], **Замрій М.В.**[2], **Бондар М.В.**[2]
[1] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, 54025, м. Миколаїв
[2] Миколаївський обласний центр з гідрометеорології
вул. Обсерваторна, 1, 54030, м. Миколаїв
nataly.magas@gmail.com, hydronikolaev@meteo.gov.ua

Збройні конфлікти та воєнні дії завжди серйозно впливають на навколишнє середовище, інфраструктуру та життя людей. Руйнування дамби Каховської ГЕС призвело до величезної екологічної катастрофи. У роботі розглянуто питання аналізу гідрологічної ситуації у Дніпровсько-Бузькій гирловій області, внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС. Зроблено оцінку впливу на водні ресурси і території Південного регіону України. Для аналізу перебігу затоплення територій використано методи дистанційного зондування Землі. За результатами аналізу встановлено, що підвищення рівня води спостерігалось у річках Дніпро, Інгул, Південний Буг та в Бузькому лимані, підтоплення зазнали значні території південного регіону України. Підняття рівня води у водних об'єктах викликало негативний вплив на акваторії, прибережні території Херсонської та Миколаївської областей. Основними наслідками гідрологічного явища є підтоплення територій, знищення цивільної інфраструктури, житлових будинків та домогосподарств у населених пунктах, промислових і сільськогосподарських об'єктів, обмеження доступу до питної води, погіршення екологічної та епідеміологічної ситуації, руйнування поверхневого шару ґрунту, пошкодження рослинності, знищення унікальнго біорізноманіття, загибель людей. За характером походження, ступенем поширення, розміром матеріальних збитків, гідрологічне явище яке спостерігалось на території Херсонської та Миколаївської областей, відноситься до надзвичайних ситуацій техногенного характеру державного рівня. Результати оцінки та аналізу динаміки гідрологічної ситуації у Дніпровсько-Бузькій гирловій області, внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС будуть основою для визначення рівнів забруднення територій, ґрунтів та водних об'єктів, проведення подальшої оцінки завданої шкоди довкіллю та населенню. *Ключові слова:* Каховське водосховище, джерела гідродинамічної небезпеки, водний конфлікт, гідрологічна ситуація, надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Analysis of the hydrological situation in the Dnipro-Bug estuary region following the destruction of the Kakhovka hydroelectric power station dam. Magas N., Khorenzhenko H., Zamuruieva K., Beshevets Yu., Ryndiuk S., Barkar V., Zamrii M., Bondar M.

Armed conflicts and hostilities always have a serious impact on the environment, infrastructure and people's lives. The destruction of the Kakhovka hydroelectric power station dam led to a huge environmental disaster. The paper deals with the analysis of the hydrological situation in the Dnipro-Bug estuary region as a result of the destruction of the Kakhovka HPP dam. The impact on water resources and the territory of the Southern region of Ukraine is assessed. Remote sensing methods were used to analyse the course of flooding. The analysis found that the water level rose in the Dnipro, Ingul, Southern Bug and Bug Estuary rivers, and that significant areas of the southern region of Ukraine were flooded. The rise in water levels in water bodies had a negative impact on the water areas and coastal areas of Kherson and Mykolaiv regions. The main consequences of the hydrological phenomenon include flooding of territories, destruction of civilian infrastructure, residential buildings and households in settlements, industrial and agricultural facilities, restricted access to drinking water, deterioration of the environmental and epidemiological situation, destruction of the surface soil layer, damage to vegetation, destruction of unique biodiversity, and loss of life. The hydrological phenomenon observed in the Kherson and Mykolaiv regions is classified as a state-level man-made emergency due to its origin, extent of spread, and amount of material damage. The results of the assessment and analysis of the dynamics of the hydrological situation in the Dnipro-Bug estuary region, as a result of the destruction of the Kakhovka HPP dam, will be the basis for determining the levels of pollution of territories, soils and water bodies, and for further assessment of the damage caused to the environment and the population. *Key words:* Kakhovka Reservoir, sources of hydrodynamic hazard, water conflict, hydrological situation, man-made disasters.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Питання водозабезпечення та водної безпеки стали вкрай актуальними на території України в умовах збройного конфлікту з російським агресором. Прояв впливу воєнних конфліктів визначається рівнем загострення проблеми та наслідками, які виникають у процесі водних конфліктів, та воєнних дій в цілому [1]. На відміну від конфліктів які відбувались раніше на територіях Глобального Півдня та країн з економікою, що розвивається [2], поточний збройний конфлікт відбувається в регіоні, який характеризується сильно модифікованим та індустріалізованим водним сектором [3, 4]. Розгалужена та важлива водна інфраструктура України включає великі багатоцільові водосховища, греблі гідроелектростанцій, охолоджувальні установки для атомних станцій, водосховища, які використовуються для промисловості та видобутку корисних копа-

лин, а також розгалужені водорозподільні канали та трубопроводи для зрошення та побутових потреб [5, 6]. Такі об'єкти є основними джерелами гідродинамічної небезпеки на території України та створюють загрози і в мирний час. Їхнє руйнування призводить до підтоплення територій та знищення водної біоти, погіршення екологічної та епідеміологічної ситуації, знищення населених пунктів, промислових і сільськогосподарських об'єктів, загибелі людей. Більшість цієї водної інфраструктури розташовано у східній та південній частинах країни, в районах інтенсивного сільськогосподарського виробництва та основних промислових видів діяльності, таких як металургія, видобуток вугілля та хімічне виробництво.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота тісно пов'язана з вирішенням завдань, що наведені у Водній стратегії України на період до 2050 року [7], Комплексній програмі охорони довкілля Миколаївської області на 2021-2027 роки [8], Розпорядженні керівника робіт з ліквідації наслідків надзвичайної ситуації техногенного характеру регіонального рівня, пов'язаної з підривом російською федерацією Каховської ГЕС від 15.06.2023 № 6, Положенні про Український гідрометеорологічний центр державної служби України з надзвичайних ситуацій [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впливу воєнної діяльності на стан водних ресурсів висвітлено в розрізі таких напрямів: ознаки збройних конфліктів і наслідки їх у регіоні Донбасу України та поділ типів водного конфлікту розкрито у працях Хільчевського В.К. [10, 11]; приклади шляхів вирішення водних конфліктів тих країн, що не мали прямого виходу до моря, і відповідно боролися за це, представлено у працях Куцька О.М., Перемибіда Д.О. [12], головні воєнні дії (їхні наслідки та ризики), які негативно впливають на стан водних об'єктів та їх якість, розкрито у працях Строкаль В.П., Ковпак А.В. [1], вплив воєнних дій на прісноводні ресурси та водну інфраструктуру за перші три місяці війни на території України проаналізовано в роботі Шумілової О., Токнер К., Суходолова А. та ін. [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Яскравим прикладом прояву негативних наслідків від впливу на водну інфраструктуру під час воєнних дій на території України є підрив греблі ДніпроГЕС під час Другої світової війни у 1941 році, підрив дамби Північно-Кримського каналу та дамби і насосної станції в гирлі р. Ірпінь у 2022 році. Причини та наслідки впливу цих подій на водні ресурси і території показано у таблиці 1. Відповідно до класифікації Тихоокеанського інституту (США) [13], на основі рівня використання, ефекту та впливу води, такі водні конфлікти можна віднести до категорії де вода виступає як «жертва» – водний конфлікт, в якому забруднення водних об'єктів, руйнування або пошкодження водної інфраструктури відбувається як навмисно так і випадного внаслідок воєнних дій та збройних конфліктів; «зброя» – водний конфлікт, в якому водні об'єкти (водні ресурси) використовувались як інструмент в насильницькому конфлікті.

Найбільшу гідродинамічну небезпеку для населення Південного регіону України становлять Ташлицьке водосховище (Миколаївська область), Каховське водосховище (Херсонська область) та гребля на Хаджибейському лимані (Одеська область). Значну гідродинамічну небезпеку також створюють водосховища, що розташовані за межами регіону: Ладижинське (Вінницька область) та Дубосарське (Республіка Молдова) [14, 15].

06 червня 2023 року, приблизно о 3-ій годині ранку російськими окупантами було підірвано греблю Каховської ГЕС, яка розташована на річці Дніпро (5 км від м. Нова Каховка Херсонської області),

Таблиця 1

Причини та наслідки впливу військових дій на основні джерела гідродинамічної небезпеки на території України, 1941–2022 рр. [13, 8, 1]

Рік	Причини водного конфлікту	Тип конфлікту	Наслідки водного конфлікту
1941 1943	Підрив греблі ДніпроГЕС	зброя, жертва	Відсутність доступу до безпечної води, затоплення територій
2022	Знищення російськими військами греблі Оскільського водосховища у Харківській області	жертва	Практично повне обміління водойми, зруйновано екосистему водосховища, знищено цінні види риб та іншої водної біоти
2022	Підрив дамби, яка перекривала Північно-Кримський канал	зброя, жертва	Зношення та замулення гідротехнічних споруд, збільшення дефіциту води
2022	Підрив дамби і насосної станції в гирлі р. Ірпінь при впадінні в Київське водосховище на Дніпрі	зброя, жертва	Затоплення територій, забруднення грунтів, води в результаті підтоплення

що спровокувало катастрофу небачених наслідків. Каховське водосховище відігравало критично важливу роль у забезпеченні енергії, питної води, зрошення та перевезень річковим транспортом в різних регіонах на півдні України, а також у постачанні води для промислових підприємств у таких містах, як Кривий Ріг, Нікополь, Марганець та інших.

Метою даної роботи є аналіз гідрологічної ситуації у Дніпровсько-Бузькій гирловій області, внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС та оцінка впливу на водні ресурси і території Південного регіону України.

Методологічне або загальнонаукове значення. Внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС, з 6 червня 2023 року на Каховському водосховищі та на пригирловій ділянці р. Дніпро спостерігається складна гідрологічна ситуація техногенного характеру, яка обумовила активне зниження рівнів води на Каховському водосховищі та катастрофічне підвищення рівнів води нижче за течією.

Аналіз фактичної гідрологічної ситуації водних об'єктів на території Херсонської та Миколаївської області після руйнування греблі Каховської ГЕС, було виконано на основі отриманих та оброблених відповідними технічними і технологічними засобами результатів спостережень на восьми постах гідрометеорологічної мережі Миколаївського, Херсонського та Дніпропетровського обласних центрів з гідрометеорології (рис. 1).

Викладення основного матеріалу. Рівень води в Каховському водосховищі перед підривом станом на 5 червня 2023 року дорівнював 16,79 м БС (об'єм 19,9 км^3), що на 0,79 м був вище нормального підпірного рівня водосховища (НПР).

За результатами оперативної оцінки рівневого режиму Каховського водосховища, яка проводилась за даними гідрологічного поста Нікополь, після підриву греблі Каховської ГЕС спостерігалось зниження рівнів води на Каховському водосховищі з інтенсивністю в середньому 5-10 см за годину. Найінтенсивніший спад спостерігався в першу добу (рівень знизився за добу на 1,65 м) з поступовим зменшенням інтенсивності в період 7-11 червня (спад рівнів води був на 1,0-1,4 м за добу) (рис. 2). Через неможливість проведення подальших вимірів на посту Нікополь, внаслідок втрати гідравлічного зв'язку з основною частиною Каховського водосховища, останні спостереження були проведені о 20 годині 11 червня, за даними яких загальний спад рівнів води на Каховському водосховищі становили 7,73 м (у порівнянні з рівнями на 20 годину 5 червня), об'єм водосховища зменшився на 73 % і становив 5,4 км^3 [16].

Рівні води на Каховському водосховищі знизились нижче критичних відміток роботи водозаборів населених пунктів прилеглих територій та згідно [17] є нижчими за початковий рівень стихійного гідрологічного явища (СГЯ III-низькі рівні).

Внаслідок підриву Каховської ГЕС значна товща води рушила вниз за течією, обумовивши різке підвищення рівнів води і затоплення значних територій, що призвело до катастрофічних наслідків. На пригирловій ділянці р. Дніпро в створі поста МГП-І Херсон 6 червня 2023 року з 04 год. 20 хв. по стрічці

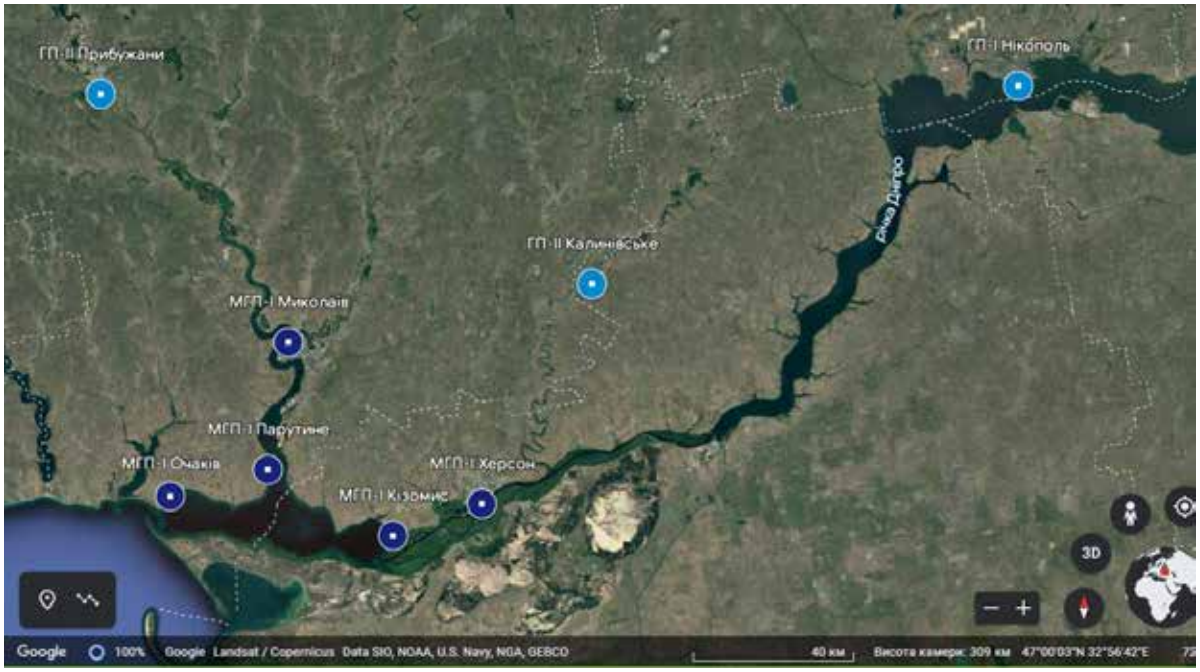


Рис. 1. Просторовий розподіл постів гідрологічних спостережень для оцінки наслідків руйнування греблі Каховської ГЕС

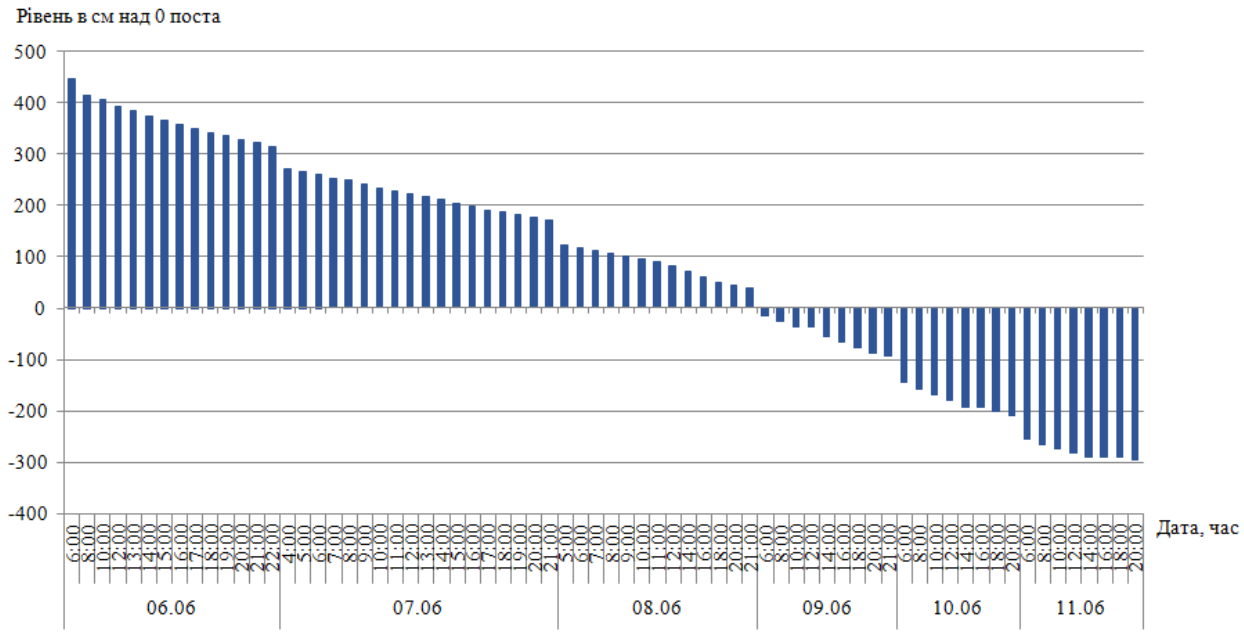


Рис. 2. Динаміка зниження рівня води в Каховському водосховищі після руйнування греблі Каховської ГЕС (за даними гідрологічного поста Нікополь)

самописця рівня моря (СРМ) почалось стрімке зростання рівня води від відмітки 535 см. На 08 год. 00 хв. рівень досяг 660 см і перевищив на 10 см небезпечну відмітку 650 см. Перо СРМ вийшло за стрічку і він перестав працювати. Спостереження рівня води на МГП-І Херсон проводились переносною рейкою відносно футштока. Відлік по переносній рейці, коли востаннє була можливість дістатись до футштока, зафіксував перевищення рівня води на 23 см над верхом футштока. Причал річкового порту вже був частково підтоплений. Було розпочато почащені спостереження кожні 15 хвилин, передача результатів вимірювань кожні 30 хвилин. Були вибрані позначки на місцевості для визначення тенденції підняття рівнів, вимірювання проводились методом ватерпасовки. Впродовж доби в створі поста Херсон продовжувалось підвищення рівня води на 5-24 см за годину. О 10 годині ранку 7 червня рівень води досяг відмітки 1034 см (5,34 м БС), загальне підвищення становило 5,04 м.

Станом на 3 годину ночі 8 червня в створі поста сформувався максимальний рівень висотою 5,37 м над рівнем на 20 годину 5 червня – 1068 см над нулем поста (5,68 м БС), що на 411 см перевищував максимум за період введення в експлуатацію Каховької ГЕС (657 см, 1956 – 2022 р.р.) та на 267 см максимум за період незарегульованого стоку 1916-1955 р.р. (800 см 18.05.1931р.). Потім спостерігалось його незначне коливання в межах 1-2 см з тенденцією до зниження. Протягом 9 червня спостерігалось стабільне зниження рівня води на 2-7 см за годину. 10-16 червня продовжувався стабільний спад рівнів води в межах 1-8 см за годину. 16 червня о 20 год. 00 хв. рівень води знизився нижче небезпечної відмітки і досяг 649 см (1,49 м БС) (рис. 3).

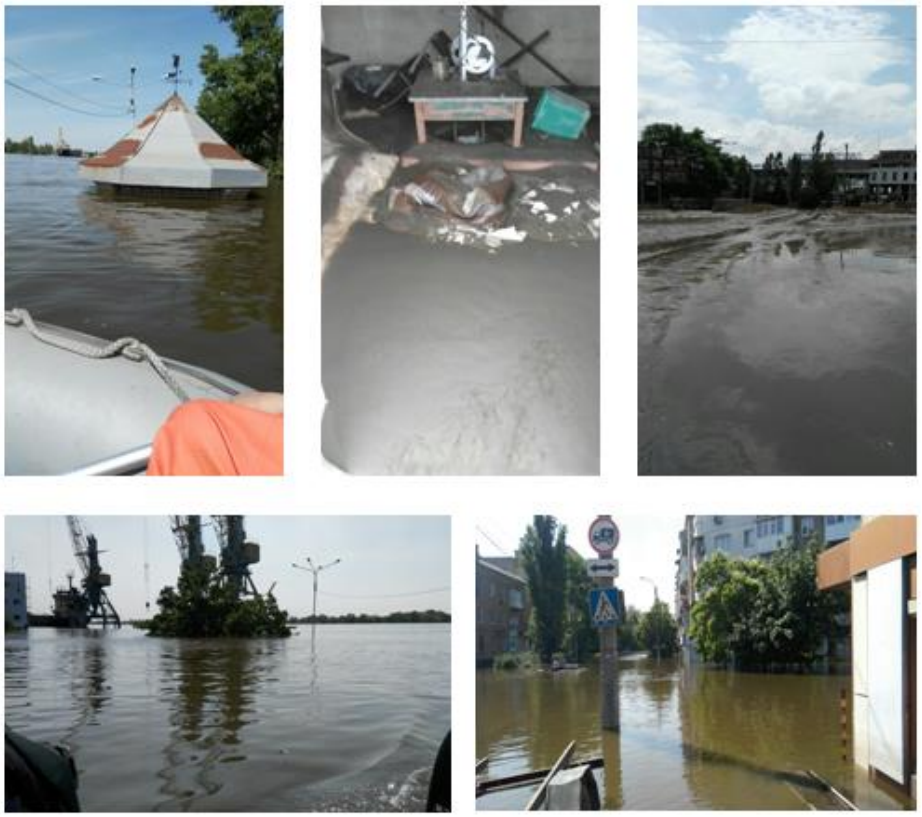
Впродовж наступних 10 днів рівень води в створі МГП-І Херсон продовжував поступово знижуватись, повертаючись до середніх значень.

Із застосуванням методів дистанційного зондування з використанням даних супутників Landsat-8 та Landsat-9 (надані NASA/USGS) було виконано аналіз перебігу затоплення територій внаслідок терористичного акту збройних сил рф. Для цього було застосовано Індекс нормалізованої різниці води NDWI (Normalized Difference Water Index), який використовується для виділення водної поверхні на супутниковому знімку від ґрунту та рослинності. Результати представлені у вигляді картографічного матеріалу, на якому відображено динаміку зміни затоплених площ за період 1-17 червня 2023 р., де блакитним кольором показано водну поверхню, синім – затоплені території, світло-зеленим – суходіл (рис. 4-6).

За результатами аналізу видно суттєве підвищення рівня води не тільки у р. Дніпро, а й у р. Інгулець. При цьому утримувалось значне затоплення прируслових територій, житлових, промислових та господарських об'єктів у м. Херсоні та прирічкових населених пунктах в Бериславському, Каховському, Херсонському і Скадовському районах Херсонської області.

Після проходження максимального рівня в створі поста Херсон спостерігався поступовий спад рівнів води з інтенсивністю 20-60 см за добу до 20 червня, з 21 до 26 червня – 1-8 см за добу. 26 червня рівень води знизився до відмітки, що спостерігалась 5 червня перед підривом Каховської ГЕС.

а)



б)

Рис. 3. Територія біля морського гідрологічного поста МГП-І Херсон:
а) до підриву дамби; б) після підриву дамби станом на 09.06.2023 р.; в) після підриву дамби станом на 17.06.2023 р.

в)

Рис. 3 (закінчення)

Рис. 4. Площі водної поверхні за індексом NDWI до руйнування греблі Каховської ГЕС, станом на 01.06.2023 року

Внаслідок різкого підвищення рівня води у Дніпрі нижче Каховської ГЕС на пригирлових ділянках річок, які впадають в р. Дніпро, спостерігались підйоми рівнів води, зумовлені затоком дніпровської води в гирла цих річок.

На р. Інгулець у створі поста Калинівське, що знаходиться на відстані 124 км від гирла річки, з другої половини доби 6 червня до 10 червня рівень води підвищувався з інтенсивністю 1,5-2 м щодоби і о 2 годині 10 червня сформувався максимальний рівень висотою 6,11 м (передпаводковим рівнем), досягнувши відмітки 6,38 м БС, що на 62 см вище історичного максимуму (5,76 м БС 16.03.1937 р.). При цьому за даними Каталогу небезпечних відміток відбулось затоплення заплав, приватних споруд в с. Калинівське на відстані більше 0,5 км від створу поста та автомобільного мосту між с. Калинівське і с. Краснолюбецьке Бериславського району Херсонської області, який знаходиться на відстані 0,75 км від гідрологічного поста. В населених пунктах Бериславського та Херсонського районів, розташованих вздовж р. Інгулець, спостерігалось масове затоплення об'єктів цивільної інфраструктури, житлових будинків та домогосподарств.

Впродовж періоду з 11 по 23 червня рівень знижувався з добовою інтенсивністю 20-60 см, надалі

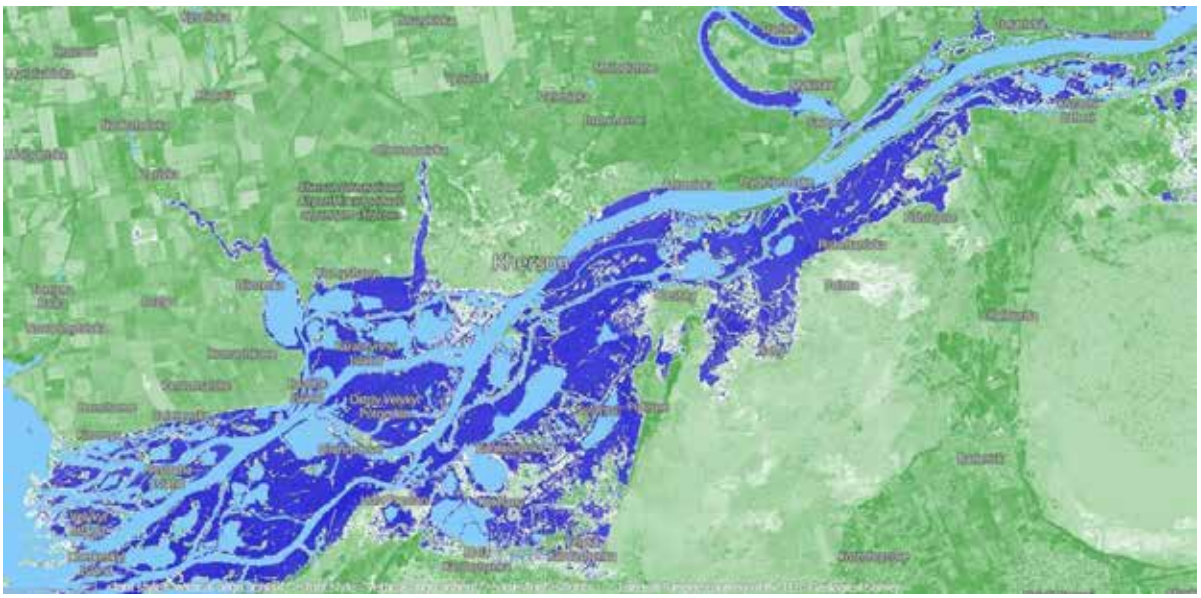


Рис. 5. Площі затоплених територій за індексом NDWI станом на 09.06.2023 року

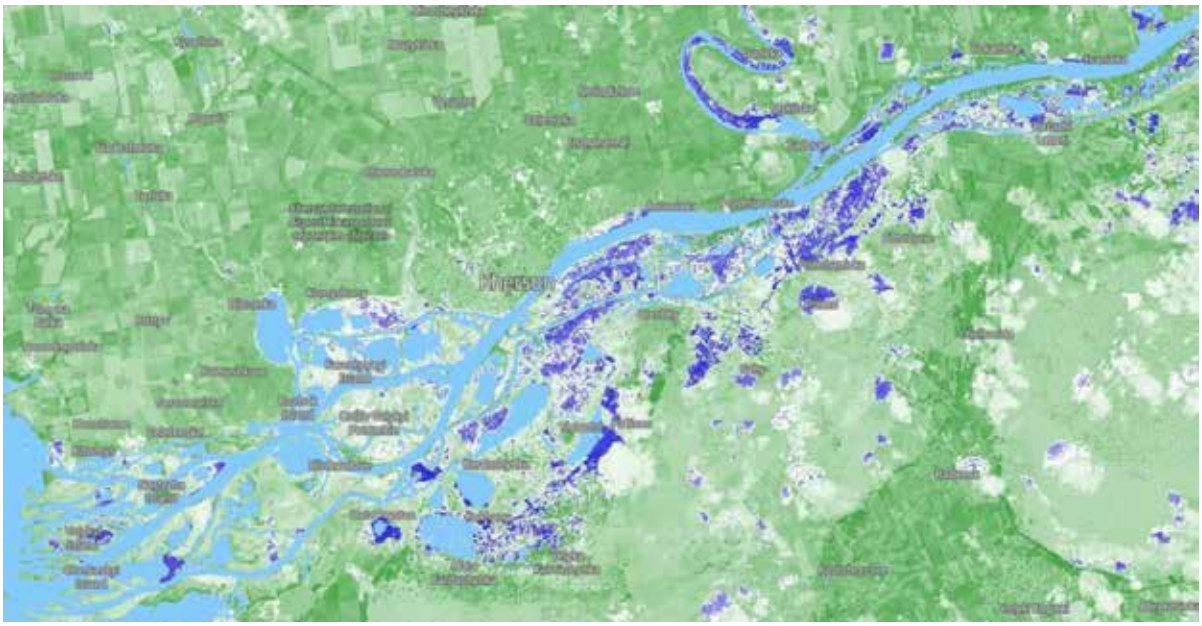


Рис. 6. Площі затоплених територій за індексом NDWI станом на 17.06.2023 року

інтенсивність зниження зменшилась до 5-9 см за добу. 23 червня рівень води знизився до передпаводкової відмітки, що спостерігалась 6 червня.

Внаслідок підриву Каховської ГЕС відбулось надходження дніпровської води в Дніпро-Бузький лиман та відбувався підйом рівнів води на р. Південний Буг в районі поста Миколаїв. Станом на 8 годину 8 червня рівень води підвищився на 97 см над передпаводковим і досяг відмітки 592 см (0,92 м БС), що призвело до затоплення причалів № 1-6 ДП «Адміністрації морських портів України». Опівночі 9 червня сформувався максимальний рівень води висотою 1,07 м над передпаводковим, досягнувши відмітки 602 см (1,02 м БС). Впродовж періоду з 9 по 14 червня відбувалось зниження рівня з добовою інтенсивністю 9-18 см, надалі інтенсивність зниження зменшилась до 5-6 см за добу. 18 червня рівень води знизився до передпаводкової відмітки, що спостерігалась 6 червня. Така ж тенденція спостерігалась на морських гідрологічних постах у с. Парутине та м. Очакові. Максимальні рівні води перевищили значення небезпечних відміток на 59 см в районі поста Парутине та 53 см – поста Очаків.

Підвищення рівня води до позначок нормальних підпірних рівнів також було зафіксовано у р. Південний Буг на гідрологічному посту

(ГП-ІІ) Прибужани гідрологічної станції Первомайськ, що знаходиться на відстані 104 км від гирла річки. Максимальний рівень висотою 5,93 м (над нулем поста) спостерігався вранці 9 червня 2023 року (рис. 7), підняття рівня води не досягало критичних значень (750 см).

Динаміку зміни рівнів води на основних постах спостережень показано на рисунку 8. Аналіз зазначених даних свідчить, що станом на 9 червня 2023 р. рівні води в районах гідрологічних постів практично стабілізувались та почали знижуватись.

Внаслідок підняття рівня води в Бузькому лимані, річках Південний Буг, Інгул та Інгулець часткового підтоплення зазнав 31 населений пункт на території Баштанського та Миколаївського районів Миколаївської області. Було підтоплено присадибні ділянки і будинки, дороги, автозаправні станції, сільськогосподарські угіддя, затоплено понтонні та пішохідні мости між населеними пунктами. Внаслідок надзвичайної ситуації загинули 2 людини на території Миколаївської області та 29 людей на правому березі Дніпра Херсонської області. Кількість жертв на лівобережжі Херсонської області наразі невідома. В населених пунктах було припинено електропостачання та централізоване водопостачання [19, 20, 22].

У м. Миколаєві спостерігалось підвищення рівня води в Бузькому лимані, річках Інгул, Південний Буг та затоплення берегової смуги в 6 мікрорайонах (мкр. Намив, півострів Аляуди, мкр. Ракетне урочище, мкр. Варварівка, мкр. Матвіївка та мкр. В. Кореniха). У найближчій точці пляжу мікрорайону Намив вода підступила до зупинок громадського транспорту. З метою запобігання подальшого підтоплення територій були проведені роботи з укріплення берега на даній ділянці Бузького лиману.

За характером походження, ступенем поширення, розміром матеріальних збитків, гідрологічне явище яке спостерігалось на території Херсонської та Миколаївської областей, згідно [21], відноситься до надзвичайних ситуацій техногенного характеру державного рівня (11110 – НС унаслідок прориву греблі (дамби, шлюзу тощо) з утворенням хвилі прориву та катастрофічного затоплення. Характеристику гідрологічного явища згідно даних по постах спостережень наведено в таблиці 2.

На основі оцінки рівня впливу води та ефекту і наслідків після підриву та руйнування греблі ГЕС, дане гідрологічне явище можна віднести до категорії водних конфліктів, де вода виступає як «жертва» – «зброя». За результатами аналізу гідрологічної ситуації у Дніпровсько-Бузькій гирловій області, що склалась внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС встановлено, що рівень впливу на водні ресурси і території Південного регіону України можна оцінити як катастрофічний.

Висновки. Греблі гідроелектростанцій завжди були об'єктом підвищеної техногенної небезпеки. Руйнування дамби Каховської ГЕС призвело до величезної екологічної катастрофи. Підтоплення зазнали значні території південного регіону України

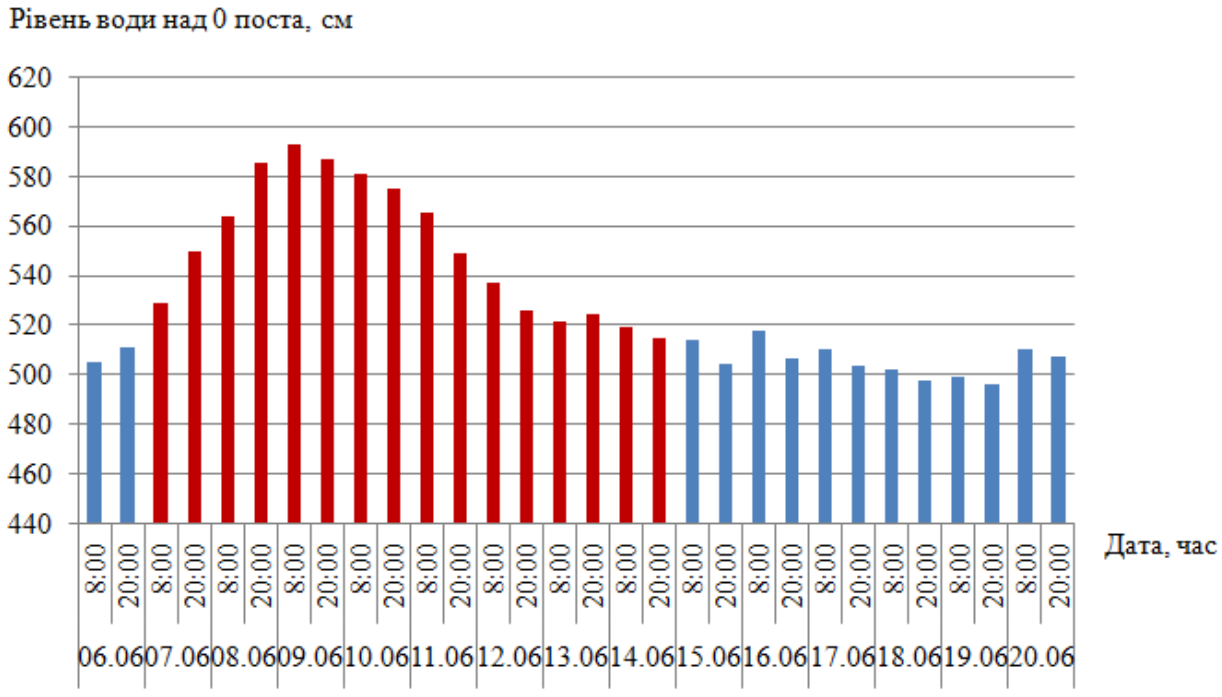


Рис. 7. Динаміка зміни рівня води у р. Південний Буг в районі гідрологічного поста с. Прибужани (червоним кольором позначено період перевищення позначки підпірного рівня)

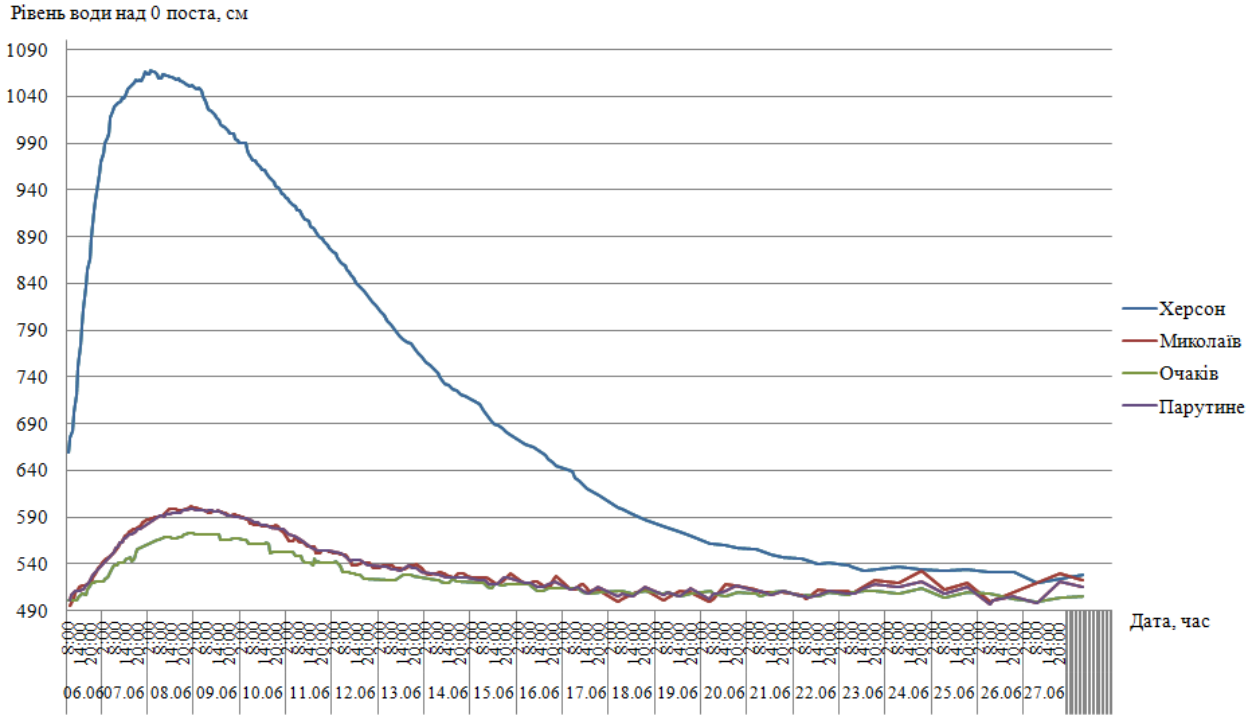


Рис. 8. Зміна рівнів води в річках Дніпро, Південний Буг та Дніпро-Бузькому лимані за даними Миколаївського обласного центру з гідрометеорології та постів спостережень, розташованих нижче Каховської ГЕС

Таблиця 2

Характеристика небезпечного гідрологічного явища в Дніпровсько-Бузькій гирловій області, внаслідок руйнування греблі Каховської ГЕС

Пункт спостережень, на якому спостерігалось гідрологічне явище	**Небезпечна відмітка рівня, см**	**Початок явища (дата, год., хв.) київськ. літ.**	**Кінець явища (дата, год., хв.) київськ. літ.**	**Загальна тривалість явищ (год.,хв.)**	**Інтенсивність явища (максимальне значення), см**	**Вплив гідрологічного явища на функціонування господарського комплексу (збитки)**
р. Дніпро – МГП-І Херсон	650	06.06 08 год. 00 хв.	16.06 20 год. 00 хв.	252 год. 00 хв.	1068	Відсутність доступу до безпечної води, затоплення територій. Остаточні збитки будуть підраховуватись після ліквідації техногенної катастрофи та звільнення лівобережної частини Херсонської області
Дніпро-Бузький лиман – МГП-І Парутине	540	07.06 08 год. 00 хв.	12.06 09 год. 00хв.	121 год. 00 хв.	599	Затоплення берегової смуги та балки в межах села. Домогосподарства не постраждали
р. Південний Буг – МГП-І Миколаїв	540	07.06 00 год. 40 хв.	12.06 22 год 00 хв.	141 год. 20 хв.	602	Затоплення берегової смуги вздовж Південного Бугу та Бузького лиману. Затоплення на території ДП «Адміністрації морських портів України» на причалах №№ 1-6. Остаточні збитки будуть підраховуватись після ліквідації техно-генної катастрофи.
Дніпро-Бузький лиман – МГП-І Очаків	520	07.06 19 год. 00 хв.	11.06 06 год. 00 хв.	83 год. 00 хв	573	Затоплені окремі ділянки причалу в порту. Функціонування господарського комплексу не порушено

з унікальним біорізноманіттям. Підняття рівня води у водних об'єктах викликало негативний вплив на акваторії, розмиви на прибережних територіях, руйнування поверхневого шару ґрунту, пошкодження рослинності, сільськогосподарських угідь і врожаю, руйнування будинків, об'єктів інфраструктури та інших споруд. Важливим для подальшого вивчення та дослідження є питання забруднення цих територій та водних об'єктів. Адже, всі забруднюючі речовини, які були на затопленій поверхні, серед яких є паливно-мастильні матеріали, сміття, агрохімікати, інші небезпечні матеріали, стічні води з очисних споруд, каналізації надійшли у воду та переносились на інші території та у Чорне море. Через поверхневі води шкідливі речовини можуть потрапити до ґрунтових та підземних вод. Оскільки південний регіон України відноситься до регіонів з найменшим показником водозабезпечення, то основним джерелом водопостачання є саме підземні води. В цьому випадку, створюється пряма загроза здоров'ю населення. Це свідчить про наявність складної екологічної ситуації в регіоні і необхідність проведення детального вивчення та аналізу стану водних ресурсів та ґрунтів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження та аналізу зміни гідрологічної ситуації можуть бути використані при вдосконаленні та розробці заходів попередження небезпечного впливу надзвичайних ситуацій техногенного характеру унаслідок прориву греблі (дамби, шлюзу тощо) з утворенням хвилі прориву та катастрофічного затоплення на населення. Отримані результати про площі територій затоплення будуть основою для визначення рівнів забруднення територій, ґрунтів та водних об'єктів, проведення подальшої оцінки завданої шкоди довкіллю та населенню.

Література

1. Строкаль В.П., Ковпак А.В. Воєнні конфлікти та вода: наслідки й ризики. Екологічні науки : науково-практичний журнал. – К. : Видавничий дім «Гельветика», 2022. – No 5(44). с. 94-102. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.14
2. Schillinger, J., Özerol, G., Güven-Griemert, S., Heldeweg, M. Water in war: understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. WIREs Water 7, e1480 (2020).
3. Khilchevskyi, V. K., Mezentsev, K. V. Water conflicts and Ukraine: Donbas region. In Proc. 15th International Scientific Conference: Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment 1–5 (European Association of Geoscientists & Engineers, 2021)
4. Khan, M. The Environmental Impacts of War and Conflict K4D Helpdesk Report (Institute of Development Studies, 2022); https://doi.org/10.19088/K4D.2022.060
5. Sukhodolov, A. N. et al. in Rivers of Europe (eds Tockner, K. et al.) 685–716 (Elsevier, 2022)
6. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. Nat Sustain **6**, 578–586 (2023). https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x
7. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text
8. Про затвердження Комплексної програми охорони довкілля Миколаївської області на 2021-2027 роки: Рішення Миколаївської обласної ради від 23.12.2020 № 16. URL: https://www.mk-oblrada.gov.ua/UserFiles/decree/16111249526007d0d8091a5.pdf
9. Про затвердження Положення про Український гідрометеорологічний центр державної служби України з надзвичайних ситуацій: Наказ Державної служби України з надзвичайних ситуацій 28.05.2013 № 336 (у редакції наказу Державної служби України з надзвичайних ситуацій 06.04.2023 № 291). URL: https://www.meteo.gov.ua/ua/Polozhennya-pro-centr
10. Khilchevskyi, V. K., Mezentsev, K. V. (2021, November). Water conflicts and Ukraine: Donbas region. In 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2021, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers. URL: https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20215K2004
11. Хільчевський В.К. Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 1(63). с. 6-19. URL: https://hydro-chemistry-ecology.knu.ua/wp-content/uploads/2022/06/1_%D0%93%D0%93%D0%93163.pdf
12. Куцька, О. М., Перемибіда, Д. О. (2022). Реалізація прагнення виходу до моря в рамках водних конфліктів XXI століття: зарубіжний досвід вирішення протиріч мирним шляхом. Військово-науковий вісник, (37), 270-291. URL: http://vnv.asv.gov.ua/article/view/260887
13. Pacific Institute (2022) Water Conflict Chronology. Pacific Institute, Oakland, CA. https://www.worldwater.org/water-conflict/. Accessed: 21.07.2023.
14. Хилько М. І. Екологічна безпека України: Навчальний посібник / М. І. Хилько. – К., 2017. 267 с.
15. Зелінський С. Е. Водопостачання та водна безпека у контексті російської агресії. Аналітичний звіт. 2022. URL: https://www.irf.ua/wpcontent/uploads/2022/05/vodopostachannya-ta-vodna-bezpeka-u-konteksti-rosijskoyi-agresiyi.pdf
16. Про гідрологічний режим водних об'єктів України, що склався у червні 2023 р. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. URL: https://www.meteo.gov.ua/ua/Misyachnii-ohlyad
17. Положення про порядок складання та доведення попереджень, оповіщень, донесень про виникнення і розвиток гідрологічних явищ різного рівня небезпеки на водних об'єктах суші України. Наказ Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій № 124 від 01.01.2021р.
18. Гідрологічні попередження. Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. URL: https://www.meteo.gov.ua/ua/Hidrolohichni-poperedzhennya

19. Оперативна інформація про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7 годин 7 червня 2023 року. URL: https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu
20. Оперативна інформація про надзвичайні ситуації техногенного, природного та іншого характеру на території України станом на 7 годин 9 червня 2023 року. URL: https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/arxiv-dovidok-za-dobu
21. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики від 11.10.2010 № 457. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text
22. Інформаційна довідка про надзвичайні ситуації в Україні у червні 2023 року. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: https://dsns.gov.ua/uk/operational-information/nadzvicaini-situaciyi-v-ukrayini-2/dovidka-za-misiac

УДК 502/504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.3

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ НА СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Чугай А.В., Чернякова О.І., Клімов І.О.
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
avchugai@ukr.net

Внаслідок збройної агресії Росії і військових дій якість атмосферного повітря в Україні значно погіршується. Дії, які посягають на довкілля та його компоненти, що призводить до негативних змін стану та якості довкілля, називаються злочином проти довкілля. Такі злочини визначаються і у сфері охорони атмосферного повітря. Міжнародне законодавство свідчить про те, що злочини проти довкілля є частиною військових злочинів. Станом на лютий 2023 р. загальна вартість реконструкції та відновлення в Україні складала близько 411 млрд. доларів США. Зазначені оцінки не враховується вартість забруднення довкілля, відновлення деградованих екосистемних послуг, компенсацію за їхнє погіршення. Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України розроблено офіційний вебресурс ЕкоЗагроза, який дозволяє визначити обсяги надходжень забруднюючих речовин у довкілля і збитки довкіллю внаслідок військової агресії РФ. Максимальні обсяги викидів відзначаються при знищенні танків, броньованих машин і артсистем. Найбільші показники викидів на 1 одиницю техніки відзначаються для CO_2. Максимальна кількість забруднюючих речовин надходить при знищенні цистерн з паливом і літаків. При розрахунку надходження окремих забруднюючих речовин було виділено 4 групи (від максимальних значень до мінімальних). До I групи було віднесено CO_2, до IV – SO_X, *Se* та бенз(а)пірен. За розміром завданої шкоди забруднюючі речовини були розподілені на 5 груп. Максимальні збитки (більше 122 млн. грн.) були завдані в результаті викидів CO_2, мінімальні – в результаті викидів SO_X та бенз(а)пірену. Проаналізовано співвідношення викидів і розмірів шкоди. Без урахування викидів CO_2 отримано, що при значних викидах *CO* розмір шкоди є низьким, а при незначних викидах NO_X та окремих важких металів значення розмірів шкоди є високими. Отримані дані є основою для розробки державних і місцевих природоохоронних програм, уточнення розмірів шкоди із застосуванням оновлених даних з метою стягнення компенсації з країни-агресора за шкоду навколишньому середовищу. *Ключові слова:* військова діяльність, злочин, атмосферне повітря, розмір шкоди.

Analysis of the impact of military activities in Ukraine on the state of atmospheric air. Chugai A., Chernyakova O., Klimov I.
As a result of Russia's armed aggression and hostilities, the quality of the air in Ukraine is deteriorating significantly. Actions that encroach on the environment and its components, leading to negative changes in the state and quality of the environment, are called a crime against the environment. Such crimes are also defined in the field of air protection. International law states that crimes against the environment are part of war crimes. As of February 2023, the total cost of reconstruction and restoration in Ukraine was about USD 411 billion. These estimates do not take into account the cost of environmental pollution, restoration of degraded ecosystem services, or compensation for their deterioration. The Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine has developed an official web resource EcoThreat, which allows to determine the amount of pollutants released into the environment and environmental damage caused by the Russian military aggression. The maximum emissions are recorded when tanks, armored vehicles and artillery systems are destroyed. The highest emissions per unit of equipment are recorded for CO_2. The maximum amount of pollutants is released when fuel tanks and aircraft are destroyed. When calculating the emissions of individual pollutants, 4 groups were identified (from maximum to minimum values). Group I included CO_2, and Group IV included SO_X, *Se*, and benzo(a)pyrene. The pollutants were divided into 5 groups based on the amount of damage caused. The maximum damage (more than UAH 122 million) was caused by CO_2 emissions, and the minimum damage was caused by SO_X and benzo(a)pyrene emissions. The correlation between emissions and damage was analyzed. Without taking into account CO_2 emissions, it was found that with significant *CO* emissions, the amount of damage is low, and with insignificant emissions of NO_X and certain heavy metals, the damage values are high. The data obtained is the basis for the development of state and local environmental programs, clarification of the amount of damage using updated data in order to recover compensation from the aggressor country for environmental damage. *Key words:* military activity, crime, atmospheric air, amount of damage.

Постановка проблеми. Стан повітряного басейну є одним з головних факторів, який впливає на здоров'я населення. Контроль якості атмосферного повітря є однією з пріоритетних задач природоохоронної діяльності. Внаслідок збройної агресії РФ і військових дій в різних регіонах України якість цього цінного природного ресурсу значно погіршується.

Актуальність дослідження. У матеріальному кримінальному праві України виділяють 10 типів злочинів, до яких в тому числі відносяться злочини проти довкілля. Відповідно до Кримінального кодексу України, дії, які посягають на довкілля та його компоненти, раціональне використання та охорона яких забезпечують життєдіяльність населення, і полягають у безпосередньому протиправному впливу на них, що призводить до негативних змін стану та якості довкілля, називається злочином проти довкілля. Такі злочини класифікуються за об'єктами, в тому числі виділяють злочини у сфері землевикористання, охорони надр, атмосферного повітря [1].

Міжнародне законодавство також свідчить про те, що злочини проти довкілля є частиною військових злочинів. Детальний огляд міжнародних Конвенцій, Декларацій та інших документів щодо статусу впливу воєнних злочинів на стан довкілля наведено у роботі [2]. Так, автор роботи зазначає, що воєнний злочин проти довкілля – це передбачене міжнародним гуманітарним правом діяння, що посягає на довкілля та його компоненти, раціональне використання та охорона яких забезпечують життєдіяльність людини, і полягає в безпосередньому протиправному здійсненні нападу, коли відомо, що такий напад послугує причиною обширної, довгострокової та серйозної шкоди, яка є явно непропорційною порівняно з конкретною і безпосередньо очікуваною загальною військовою перевагою.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Одним з головних завдань, які постали перед Урядом України, Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, є визначення шкоди, яка була заподіяна довкіллю внаслідок військової діяльності. Одним з кроків вирішення цього завдання стала розробка відповідних методик, які дозволяють визначити розміри збитків довкіллю. Такі методики на сьогодні розроблені для різних природних середовищ, в тому числі і для атмосферного повітря [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На протязі липня 2022 – березня 2023 р. Урядом України сумісно зі Світовим банком і Європейською комісією було підготовлено два документи, які містять попередні дані щодо збитків, завданих Україні, в т.ч. і довкіллю внаслідок збройної агресії Російської Федерації [4, 5]. У Звіті [4] представлені результати оцінки станом на серпень 2022 р., у Звіті [5] – станом на лютий 2023 р. Було визначено, що загальна вартість реконструкції та відновлення в Україні вже складала близько 411 млрд. доларів США. По регіонах України найбільше потребують капіталовкладень Донецька, Харківська, Луганська і Херсонська області [5].

Зазначені оцінки враховують лише витрати на відновлення фізичних активів та інфраструктури. При цьому не враховується вартість забруднення довкілля через руйнування та нефункціонування промислових об'єктів, очисних споруд та ін., а також вартість відновлення деградованих екосистемних послуг або компенсацію за їхнє погіршення.

З урахуванням цього цікавим є запропонований принцип екосистемного підходу для оцінки збитків [6]. Так, стосовно екологічної сфери збитки можна оцінювати за 3 показниками: 1) ступінь пошкодження; 2) стійкість до впливу загроз; 3) вразливість. Пошкодження та руйнації залежать від типу зовнішньої загрози і внутрішньої структури об'єкта (системи), на яку діє зовнішня загроза, а також від того, відносно чого/кого проводиться оцінка. Стійкість розглядають як спроможність протидіяти змінам зовнішнього середовища, здатність до самоорганізації, збереження своєї структури і характеру функціонування та можливість повернення до вихідного стану. Вразливість трактують як імовірність збільшення збитків або руйнацій під дією зовнішніх факторів [6].

Запропонована методика оцінки впливу загроз, збитків, втрат ґрунтується на класифікації екосистем (біотопів). Автором розглянуто застосування бальної оцінки збитків довкіллю на прикладі урбоекосистем. При цьому залежно від типу урбоекосистеми цей перелік можна змінювати, окремі позиції (ознаки) вилучати чи додавати і проводити розрахунки за наявними збитками. За вихідну позицію приймається відсутність порушень, що позначається балом «0». Балом «4» позначається максимальна ступінь порушень [6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. У роботі виконано оцінку впливу військової діяльності на стан повітряного басейну, збитків, завданих атмосферному повітрю, а саме внаслідок знищення різних видів бойової техніки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Оцінка виконана на основі розробленої Методики [3]. Отримані результати є однією зі спроб апробації розробленої методики з метою можливого її подальшого удосконалення.

Викладення основного матеріалу. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України з метою оперативного реагування і запобігання техногенних катастроф розробило офіційний вебресурс ЕкоЗагроза [7, 8], який дозволяє дізнатися про стан довкілля в регіоні, надати звернення громадянам про надзвичайні ситуації природного і техногенного характеру. Даний ресурс містить звернення щодо впливу на всі складові довкілля (повітряний басейн, водні ресурси, ґрунти), а також лісові масиви і об'єкти ПЗФ. Окремою складовою ресурсу є інформація щодо розрахунку забруднення внаслідок знищення бойової техніки.

На рис. 1 наведено результати аналізу знищення одиниць бойової техніки за видами та сумарних обсягів викидів від них (станом на серпень 2023 р.).

З рисунку видно, що найбільші значення щодо знищення техніки відзначаються по таких видах як бойові броньовані машини (ББМ), автомобільна техніка, танки, артсистеми і безпілотні літальні апарати (БПЛА). Стосовно обсягів викидів, то максимальні об'єми відзначаються при знищенні танків, ББМ і артсистем. Слід відзначити, що при дуже значній кількості знищення автомобільної техніки обсяги викидів у повітряний басейн є досить низькими.

Нами було визначено обсяги викидів окремих забруднюючих речовин (ЗР) при знищенні одиниці певного виду бойової техніки. Отримані результати по окремих ЗР суттєво різняться. Найбільші показники викидів на 1 одиницю техніки, якщо просу-

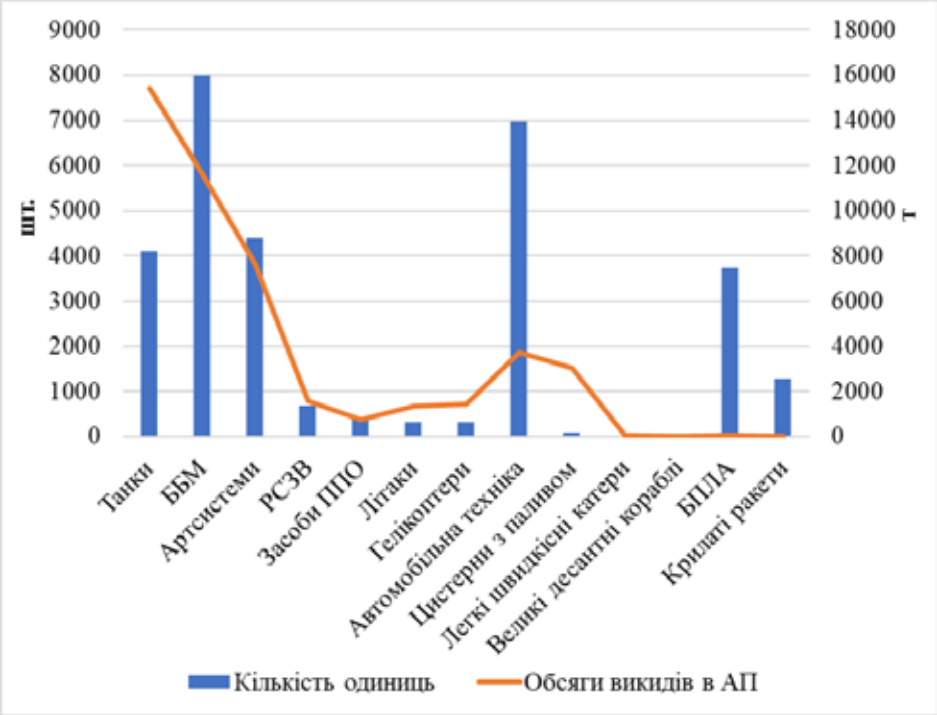


Рис. 1. Відомості щодо кількості знищення бойової техніки та обсягів викидів ЗР [8]

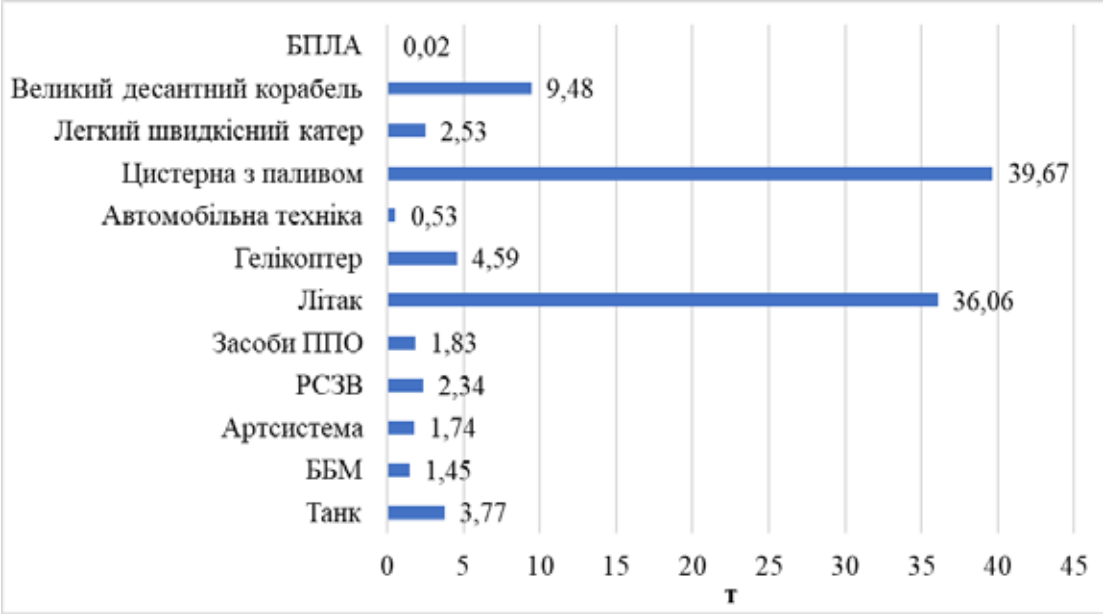


Рис. 2. Сумарні викиди ЗР по окремих видах бойової техніки

мувати всі її види, відзначаються для CO_2 – більше 100 т. Сумарні викиди на 1 одиницю по всіх видах бойової техніки для інших ЗР варіюються в межах від 9,06 • 10^{-10} т для бенз(а)пірену до 0,19 т для *CO*.

Якщо розглядати окремі види техніки (рис. 2), то максимальна кількість ЗР надходить у повітряний басейн при знищенні цистерн з паливом і літаків. Для переважної більшості інших видів техніки сумарні викиди на порядок нижче. Мінімальні показники відзначаються при знищенні автомобільної техніки та БПЛА.

З урахуванням відомостей про кількість одиниць знищеної бойової техніки станом на серпень 2023 р. нами було розраховано надходження окремих ЗР у повітряний басейн в результаті військової агресії РФ (табл. 1). Як видно, всі речовини були розподілені на 4 групи за обсягами утворення (від максимальних значень до мінімальних): до І групи

Таблиця 1

Сумарні обсяги надходження ЗР, утворених внаслідок знищення бойової техніки (станом на серпень 2023 р.)

Речовина	Обсяг надходження, т	Речовина	Обсяг надходження, т
NO_X	22,92271	Hg	0,076955
NH_3	0,04912	As	0,062219
SO_X	0,00039	Cr	0,021285
CO_2	56485,13	Cu	0,026197
CO	103,1522	*Ni*	0,622188
НМЛОС	29,47205	*Se*	0,007041
PM_{10} + $PM_{2,5}$ (сажа)	42,57074	*Zn*	8,514148
Pb	0,080229	Бенз(а)пірен	$4,94 \cdot 10^{-7}$
Cd	0,327467		

Таблиця 2

Розмір екологічного податку за викиди окремих ЗР, грн./т

Речовина	Сума екоподатку	Речовина	Сума екоподатку
NO_X	2574,43	*Hg*	109127,84
NH_3	482,84	*As*	4216,92
SO_X	2574,43	*Cr*	69113,38
CO_2	30,0	*Cu*	4216,92
CO	96,99	*Ni*	103816,62
НМЛОС	145,5	*Se*	103816,62
PM_{10} + $PM_{2,5}$ (сажа)	96,99	*Zn*	628,32
Pb	109127,84	Бенз(а)пірен	3277278,63
Cd	20376,23		

було віднесено CO_2, до II групи – NO_X, *CO*, НМЛОС, тверді частинки і *Zn*, до III групи – NH_3, *Pb*, *Cd*, *Hg*, *As*, *Cr*, *Cu* та *Ni*, до IV групи – SO_X, *Se* та бенз(а)пірен.

Наступним етапом роботи було розрахунок шкоди повітряному басейну внаслідок надходження ЗР в атмосферне повітря через знищення бойової техніки відповідно до Методики [3]. У табл. 2 наведено ставки екологічного податку за викиди окремих ЗР в атмосферне повітря відповідно до Закону України «Про запобігання фінансової катастрофи та створення передумов для економічного зростання в Україні» [9] та Податкового кодексу України [10].

Розмір шкоди, що була заподіяна атмосферному повітрю, визначався згідно з формулою (4) Методики [3]. При цьому з урахуванням відсутності достовірної інформації щодо тривалості і масштабу подій, а також з урахуванням пошкоджень під час військових дій, були прийняті такі значення окремих коефіцієнтів: *Кв* = 3 (у разі не визначення тривалості подій); *Кмп* = 1,2 (у разі не визначення або до 50 га); *Кпп* = 10 (воєнний стан).

Результати розрахунку розміру шкоди повітряному басейну внаслідок знищення бойової техніки наведено у табл. 3.

Як видно з наведеної таблиці, всі речовини за розміром завданої шкоди були розподілені на 5 груп. Максимальні збитки більше 122 млн. грн. були завдані атмосферному повітрю в результаті викидів CO_2, мінімальні – в результаті викидів SO_X та бенз(а)пірену. Також суттєвої шкоди повітрю було завдано через надходження NO_X, *Pb*, *Cd*, *Hg* і *Ni*.

Без урахування викидів CO_2, для якого і обсяги викидів, і розміри збитків є максимальними, було проаналізовано співвідношення цих двох параметрів по інших ЗР (рис. 3). Так, при значних викидах *CO* розмір шкоди є низьким. В той же час при незначних викидах NO_X та окремих важких металів, в першу чергу *Ni*, отримані значення розмірів шкоди є високими (1 млн. грн. і більше).

Головні висновки. У роботі представлено результати оцінки збитків, завданих повітряному басейну, в результаті військових дій на території України. На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

Таблиця 3

Розмір шкоди, завданої неорганізованими викидами ЗР в атмосферне повітря внаслідок знищення бойової техніки, грн.

Речовина	Розмір шкоди	Речовина	Розмір шкоди
NO_X	6373393,71	*Hg*	1511624,04
NH_3	1707,63	*As*	37781,51
SO_X	108,56	*Cr*	264798,71
CO_2	122007870,62	*Cu*	15908,00
CO	720340,57	*Ni*	9301454,00
НМЛОС	308749,22	*Se*	23335,07
$PM_{10} + PM_{2,5}$ (сажа)	445925,11	*Zn*	577757,85
Pb	1575948,47	Бенз(а)пірен	291,21
Cd	1201058,62		

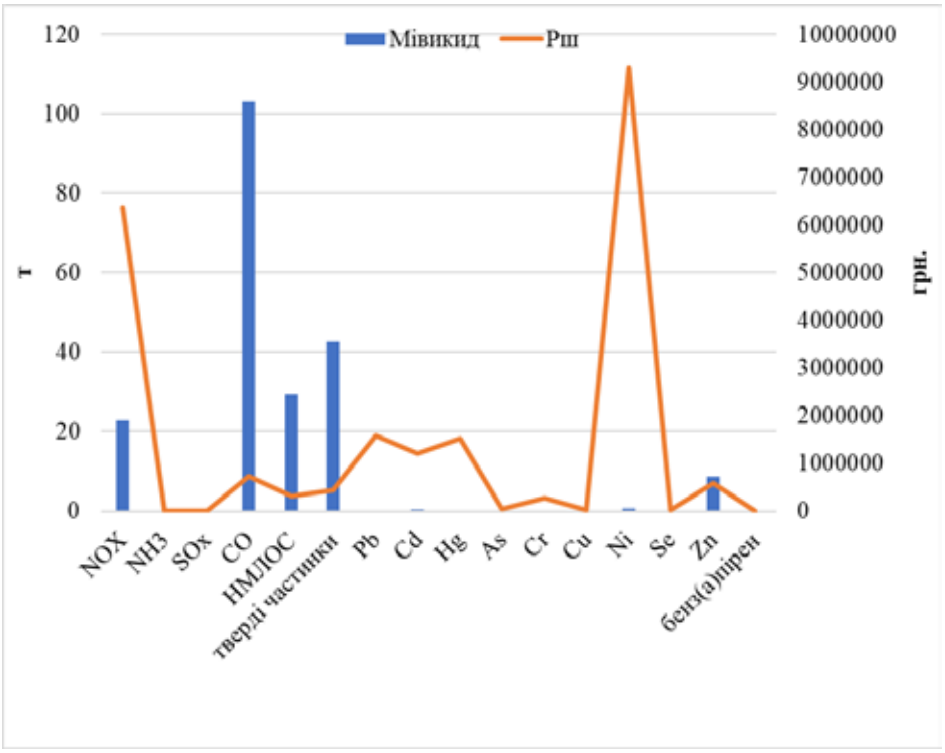


Рис. 3. Викиди ЗР та заподіяна шкода атмосферному повітрю в результаті знищення бойової техніки

1. Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України з метою оперативного реагування і запобігання техногенних катастроф було розроблено офіційний вебресурс ЕкоЗагроза, який дозволяє визначити обсяги надходжень ЗР у довкілля, а також збитки довкіллю внаслідок військової агресії РФ.

2. Аналіз показників знищення одиниць бойової техніки за видами та сумарних обсягів викидів від них (станом на серпень 2023 р.) показав, що найбільші значення відзначаються по таких видах як ББМ, автомобільна техніка, танки, артсистеми і БПЛА. Максимальні обсяги викидів відзначаються при знищенні танків, ББМ і артсистем. При цьому при дуже значній кількості знищення автомобільної техніки обсяги викидів у повітряний басейн є досить низькими.

3. Визначення обсягів викидів окремих ЗР при знищенні одиниці певного виду бойової техніки показало, що найбільші показники викидів на 1 одиницю відзначаються для CO_2 (більше 100 т). Для інших видів бойової показники варіюються в межах від $9{,}06 \cdot 10^{-10}$ т для бенз(а)пірену до 0,19 т для *CO*.

4. Максимальна кількість ЗР надходить у повітряний басейн при знищенні цистерн з паливом і літаків. Мінімальні показники відзначаються при знищенні автомобільної техніки та БПЛА.

5. Було розраховано надходження окремих ЗР у повітряний басейн в результаті військової агресії РФ. Всі ЗР були розподілені на 4 групи за обсягами утворення (від максимальних значень до мінімальних). До І групи було віднесено CO_2, до ІІ – NO_X, *CO*, НМЛОС, тверді частинки і *Zn*, до ІІІ – NH_3, *Pb*, *Cd*, *Hg*, *As*, *Cr*, *Cu* та *Ni*, до ІV – SO_X, *Se* та бенз(а)пірен.

6. За розміром завданої шкоди ЗР були розподілені на 5 груп. Максимальні збитки (більше 122 млн. грн.) були завдані в результаті викидів CO_2, мінімальні – в результаті викидів SO_X та бенз(а)пірену. Також суттєвої шкоди повітрю було завдано через надходження NO_X, *Pb*, *Cd*, *Hg* і *Ni*.

Перспективи використання результатів досліджень. Отримані дані є основою для розробки державних і місцевих природоохоронних програм, уточнення розмірів шкоди із застосуванням оновлених даних з метою стягнення компенсації з країни-агресора за шкоду навколишньому середовищу.

Література

1. Кришевич О.В., Мостепанюк Л.О. Кваліфікація злочинів проти довкілля / Мультимедійний підручник з навчальної дисципліни «Кваліфікація окремих видів злочинів». 2016. URL: https://arm.naiau.kiev.ua/books/kval-ok-zlochuniv-25-04-207/lectures/ lecture_6.html (дата звернення: 11.06.2023).
2. Садова Т.С. Щодо поняття воєнних злочинів проти довкілля в Міжнародному кримінальному праві. *Право і суспільство*. 2021. № 4. С. 252 – 257.
3. Методика розрахунку неорганізованих викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин в атмосферне повітря внаслідок виникнення надзвичайних ситуацій та/або під час дії воєнного стану та визначення розмірів завданої шкоди. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ z0433-22#Text (дата звернення: 29.10.2022).
4. Україна: швидка оцінка завданої шкоди та потреб на відновлення – серпень 2022. URL: https://documents1.worldbank.org/curated/en/ 099545009082226957/pdf/P1788430ed0fce0050b9870be5ede7337c6.pdf (дата звернення: 17.06.2023).
5. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment. February 2022 – February 2023. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-rapid-damage-and-needs-assessment-february-2022-2023-enuk (дата звернення: 18.06.2023).
6. Дідух Я.П. Екосистемний підхід до оцінки збитків, завданих воєнними діями. *Вісник НАН України.* 2022. № 6. С. 17 – 26.
7. Електронний ресурс. URL: https://mepr.gov.ua/ (дата звернення: 29.10.2022).
8. ЕкоЗагроза. URL: https://ecozagroza.gov.ua (дата звернення: 13.07.2023).
9. Закон України «Про запобігання фінансової катастрофи та створення передумов для економічного зростання в Україні». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1166-18#Text (дата звернення: 16.07.2023).
10. Податковий кодекс України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ 2755-17#n5993 (дата звернення: 16.07.2023).

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 351:630 (477)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.4

ЦИФРОВИЙ МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ, ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ

Корніюк А.В., Пацева І.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
rig@ztu.edu.ua

Цифровий моніторинг якості води є важливою складовою сучасних зусиль у збереженні та покращенні якості водних ресурсів. Він дозволяє отримувати об'єктивні дані про стан водойм, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень з покращення якості води і збереження екосистем. Ось деякі виклики та рішення, пов'язані з цифровим моніторингом якості води:

1. Велика кількість даних: Моніторинг водних ресурсів генерує величезний обсяг даних. Одним із викликів є ефективна збір, збереження та обробка таких великих об'ємів інформації. Рішенням може бути використання хмарних систем збереження даних, автоматизація процесів обробки даних та використання штучного інтелекту для аналізу.

2. Точність та надійність даних: Необхідно переконатись, що дані, зібрані під час моніторингу, є точними та надійними. Для цього можуть використовуватись сучасні сенсори та метеостанції з автоматичними калібруваннями, а також регулярна перевірка і технічне обслуговування обладнання.

3. Розподілені географічні об'єкти: Водні ресурси можуть бути розподілені географічно, що ускладнює збір даних. Цифровий моніторинг може розв'язати цю проблему, використовуючи сучасні мережі зв'язку та технології збір даних в реальному часі.

4. Моніторинг різних параметрів: Важливо моніторити різні параметри якості води, такі як рівень забруднення, рівень оксигену, pH, температура тощо. Рішенням може бути використання комплексних моніторингових систем, які вимірюють різні параметри одночасно.

5. Інтеграція даних: Інформація про якість води може надходити з різних джерел, таких як лабораторії, датчики на днах річок, датчики на дронах тощо. Викликом є інтеграція всієї цієї інформації для забезпечення єдиної картини стану водних ресурсів. Цифрові технології дозволяють збирати і обробляти дані з різних джерел та інтегрувати їх для отримання повної карти.

6. Забезпечення доступності інформації: Результати моніторингу повинні бути доступні різним зацікавленим сторонам, таким як органи влади, дослідники, громадські організації тощо. Рішенням може бути створення цифрових платформ, де дані можуть бути опубліковані та доступні відкрито для громадськості.

7. Реагування на кризові ситуації: Цифровий моніторинг може допомагати виявляти надзвичайні ситуації, такі як витоки нафти або інші забруднення, що дозволить приймати швидкі та ефективні заходи для нейтралізації загрози.

Цифровий моніторинг якості води є потужним інструментом у вирішенні проблем забруднення та збереженні водних ресурсів. Він дозволяє більш оперативно та об'єктивно реагувати на екологічні виклики та покращити стан довкілля. *Ключові слова:* цифровий моніторинг поверхневих вод, моніторинг, якість води.

Challenges and solutions of the digital water quality monitoring. Korniiuk A., Patseva I.

Digital water quality monitoring is an important component of modern efforts to preserve and improve the quality of water resources. It provides objective data on the state of water bodies, which helps to make informed decisions to improve water quality and preserve ecosystems. Here are some challenges and solutions related to digital water quality monitoring:

1. Large amount of data: Water monitoring generates a huge amount of data. One of the challenges is the efficient collection, storage and processing of such large amounts of information. The solution can be the use of cloud-based data storage systems, automation of data processing, and the use of artificial intelligence for analysis.

2. Data accuracy and reliability: It is necessary to ensure that the data collected during monitoring is accurate and reliable. This can be achieved by using modern sensors and weather stations with automatic calibrations, as well as regular inspection and maintenance of equipment.

3. Distributed geographical objects: Water resources can be distributed geographically, making data collection difficult. Digital monitoring can solve this problem by utilizing modern communication networks and real-time data collection technologies.

4. Monitoring of various parameters: It is important to monitor various water quality parameters such as pollution levels, oxygen levels, pH, temperature, etc. The solution may be to use integrated monitoring systems that measure different parameters simultaneously.

5. Data integration: Water quality information can come from a variety of sources, such as laboratories, sensors on the river bottom, sensors on drones, etc. The challenge is to integrate all this information to provide a single picture of the state of water resources. Digital technologies allow collecting and processing data from different sources and integrating them to obtain a complete map.

6. Ensure accessibility of information: Monitoring results should be made available to various stakeholders such as authorities, researchers, NGOs, etc. A solution may be to create digital platforms where data can be published and made available openly to the public.

7. Responding to crisis situations: Digital monitoring can help to detect emergencies such as oil leaks or other pollution, allowing for quick and effective measures to be taken to neutralize the threat.

Digital water quality monitoring is a powerful tool in solving pollution problems and preserving water resources. It allows us to respond more quickly and objectively to environmental challenges and improve the state of the environment. *Key words:* digital monitoring of surface water, monitoring, water quality.

Основною метою цієї статті є дослідження та оцінка можливостей цифрового моніторингу якості води. Вона спрямована на розгляд сучасних цифрових технологій та їхню роль у вимірюванні та аналізі параметрів води. Водночас, стаття також має на меті виявити можливі виклики та обмеження, пов'язані з впровадженням цифрових технологій в моніторинг води, а також вказати на необхідність подальшого дослідження та розробки стандартів та регулюючих політик щодо використання цифрового моніторингу якості води.

Методи моніторингу якості води. Моніторинг якості води є критично важливим завданням для забезпечення безпеки водних ресурсів та охорони здоров'я людей і екосистем. Сучасний прогрес у цифрових технологіях привів до розвитку нових методів моніторингу, які надають більш точні, ефективні та в реальному часі дані про якість води. Розглянемо деякі з цих сучасних методів моніторингу якості води та їхню роль у поліпшенні процесу моніторингу.

Традиційні методи моніторингу:

- Забір проб та лабораторні аналізи: Традиційний метод забору проб води та їх подальший аналіз у лабораторії є одним із найбільш поширених способів визначення якості води. Цей метод заснований на зборі зразків води з різних джерел та аналізі їх на наявність різних хімічних та біологічних параметрів. Лабораторні аналізи можуть включати визначення рівня розчинених речовин, пестицидів, токсичних металів, бактерій та інших показників якості води [1].
- Польові тест-системи: Польові тест-системи, такі як тест-смужки або портативні аналізатори, є іншими традиційними методами моніторингу якості води. Вони дозволяють швидко визначати деякі хімічні показники, такі як рівень pH, розчинений кисень, електроліти, токсичні речовини тощо [2]. Ці тест-системи зазвичай прості у використанні та забезпечують швидкі результати, що дозволяє оперативно виявляти проблеми з якістю води.

Автоматизовані системи моніторингу:

- Системи з датчиками в реальному часі: Застосування сучасних датчиків із здатністю працювати в реальному часі дозволяє забезпечити неперервний моніторинг якості води. Ці датчики можуть вимірювати різні параметри, такі як pH, температура, концентрація розчинених речовин, рівень кисню, електроліти тощо. Вони зазвичай підключаються до автоматизованих систем збору даних, які забезпечують збір, аналіз та візуалізацію інформації у реальному часі.
- Системи моніторингу з використанням сучасних технологій: Застосування сучасних технологій, таких як Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення та штучний інтелект, дозволяє створити інноваційні системи моніторингу якості води [3]. Ці системи можуть включати бездротові сенсори, автоматизовані системи збору та обробки даних, системи прогнозування забруднення та автоматичне сповіщення про небезпеки. Вони забезпечують широкі можливості для збору даних у режимі реального часу та надають більш точну та оперативну інформацію про стан якості води.

Використання географічних інформаційних систем (ГІС):

- ГІС для моніторингу водних ресурсів: ГІС є потужним інструментом для збору, зберігання, аналізу та візуалізації географічних даних. Використання ГІС у моніторингу якості води дозволяє інтегрувати дані з різних джерел, включаючи дані про забруднення, гідрологічні параметри та географічні характеристики. Це допомагає зрозуміти просторовий розподіл забруднення та його вплив на різні водні джерела [4]. На рис. 1 ми можемо побачити супутникове зображення м.Житомир, жовтим кольором виділено річки та водойми.

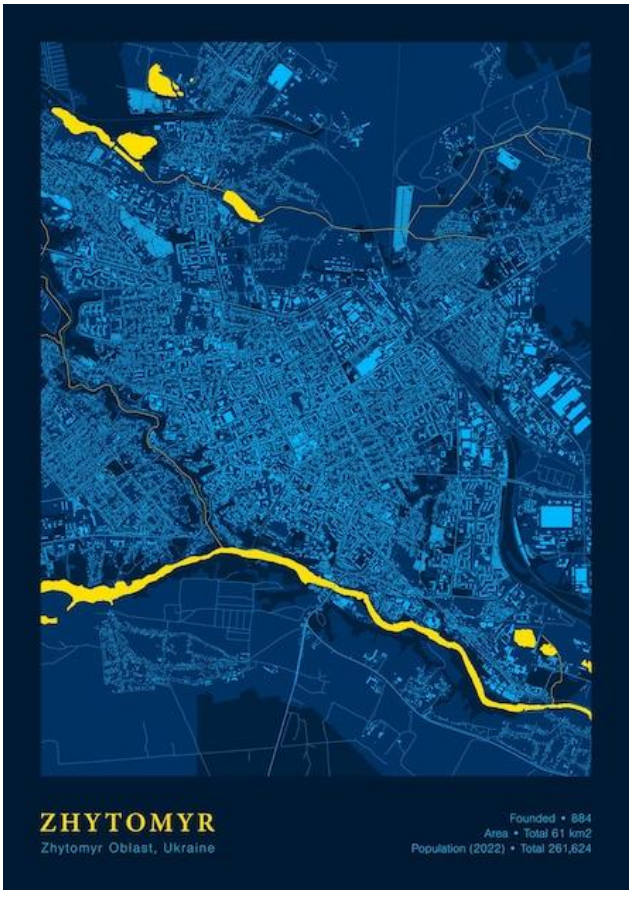


Рис. 1. Зображення м. Житомира із використанням ГІС

• ГІС для прогнозування забруднення водних ресурсів: Використання ГІС у поєднанні з моделями прогнозування дозволяє здійснювати прогнозування забруднення водних ресурсів. Це дозволяє визначати потенційні джерела забруднення, передбачати розподіл забруднення у водних системах та розробляти ефективні стратегії управління якістю води.

До недоліків використання традиційних підходів можна віднести наступні обмеження. *Затримка в отриманні результатів*: недолік полягає у затримці між збором проби води та отриманням результатів аналізу. Зазвичай, проби збираються на місці забору та транспортуються до лабораторії для подальшого аналізу, що може займати кілька годин або навіть днів. Це може створювати затримки в сприйнятті негативних змін у якості води та унеможливлювати негайну реакцію на потенційні загрози [5]. *Ообмежене просторове покриття:* традиційні методи моніторингу вимагають фізичного збору проб води з різних джерел. Це обмежує просторове покриття моніторингу, особливо в великих або віддалених водних системах. Віддалені або важкодоступні місця можуть залишатися без моніторингу, що ускладнює здатність вчасно виявляти забруднення або зміни в якості води в цих областях. *Високі витрати та трудомісткість*: Традиційні методи моніторингу води, особливо лабораторні аналізи, можуть бути витратними та вимагати значних фінансових та людських ресурсів. Збір проб, їх транспортування, обробка та аналіз у лабораторії вимагають фінансових вкладень на прилади, хімічні реагенти, працівників та інфраструктуру. Крім того, ці процеси можуть бути часо- та трудомісткими, особливо при потребі в регулярному моніторингу. *Відсутність неперервного моніторингу*: традиційні методи моніторингу зазвичай засновані на інтервальному зборі проб та аналізі [6]. Це означає, що моніторинг проводиться в певні моменти часу, а не неперервно. Зміни у якості води, які можуть статися між моментами моніторингу, можуть залишатися незрозумілими. Для отримання повної картини стану якості води потрібен постійний, неперервний моніторинг.

Переваги цифрового моніторингу. Цифровий моніторинг якості води надає значні переваги порівняно з традиційними методами моніторингу. Використання сучасних цифрових технологій дозволяє збільшити точність, ефективність та швидкість моніторингу, а також покращити здатність до виявлення забруднень та змін в якості води. Розглянемо деякі переваги використання цифрових технологій у моніторингу якості води.

• *Неперервний моніторинг*: Цифрові технології дозволяють здійснювати неперервний моніторинг якості води. Завдяки датчикам, автоматичним засобам збору даних та Інтернету речей (IoT), можна отримувати постійну потокову інформацію про параметри якості води, такі як рівень pH, температура, розчинені речовини та інші. Це дозволяє виявляти негативні зміни в реальному часі і реагувати на них негайно.

• Великий обсяг даних: Цифрові технології дозволяють збирати та аналізувати великі обсяги даних щодо якості води. Застосування автоматизованих систем та сенсорів забезпечує збір даних в режимі реального часу з багатьох джерел. Це дає можливість отримувати більш повну і точну інформацію про якість води, розподіл забруднень та тенденції змін [6]. На рис. 2 ми можемо побачити концепцію BigData яка використовується в різноманітних напрямках для отримання та обробки даних.

Рис. 2. Концепція Big Data

• *Геопросторовий аналіз:* Цифрові технології, такі як географічні інформаційні системи (ГІС) та дистанційне зондування, дозволяють здійснювати геопросторовий аналіз якості води. Це дозволяє виявляти зв'язки між параметрами якості води та географічними факторами, такими як використання землі, гідрологічні особливості та інші [4]. ГІС може бути використано для візуалізації та аналізу даних якості води на карті, що допомагає приймати обґрунтовані рішення з охорони водних ресурсів.

• *Передача даних у реальному часі:* Цифрові технології дозволяють передавати дані про якість води у реальному часі. Це дозволяє швидко реагувати на виникнення проблем та вживати відповідних заходів для їх вирішення [3]. Наприклад, системи моніторингу можуть автоматично сповіщати про виявлення надмірного забруднення води або порушення якості, що дозволяє оперативно реагувати на ситуацію та запобігти подальшому поширенню забруднення.

• *Інтеграція даних та аналітика*: Цифрові технології дозволяють інтегрувати дані з різних джерел та проводити аналітику якості води. Застосування алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє виявляти шаблони, тенденції та аномалії в даних, що сприяє більш ефективному виявленню та прогнозуванню проблем якості води [6].

Цифровий моніторинг якості води ґрунтується на принципах збору, передачі, аналізу та інтерпретації даних з використанням цифрових технологій. Основна мета цього підходу полягає в забезпеченні оперативного та ефективного контролю якості води, а також вчасного виявлення забруднень та реагування на них. Також цифровий моніторинг якості води забезпечує високу точність, швидкість та доступність збору та аналізу даних, що сприяє поліпшенню ефективності та якості моніторингу водних ресурсів.

Існуючі рішення. Звісно на сьогоднішній день вже існує багато різноманітних рішень та засобів цифрового моніторингу, розглянемо деякі з них.

1. Платформа WaterBot: WaterBot – це приклад цифрової платформи, розробленої для моніторингу якості води. Вона включає в себе набір датчиків, які вимірюють різні параметри, такі як pH-рівень, температура, розчинений кисень, електрична провідність та інші. Дані з цих датчиків передаються до централізованої системи, де вони аналізуються та візуалізуються для операторів системи моніторингу. WaterBot надає зручний спосіб контролювати якість води та реагувати на зміни у реальному часі [8]. На рис. 3 зображено вимірювальний модуль та програмне забезпечення платформи WaterBot, зображення взято з офіційного ресурсу платформи.

2. Сенсори для вимірювання концентрації речовин: Деякі цифрові сенсори спеціально призначені для вимірювання концентрації різних речовин у воді. Наприклад, сенсори на основі фотометрії можуть вимірювати концентрацію амонію, нітратів, фосфатів та інших хімічних сполук у воді. Ці сенсори зазвичай підключаються до цифрових платформ або систем моніторингу, де дані аналізуються та використовуються для оцінки якості води [9].

3. Датчики розташування та геопросторового моніторингу: Деякі цифрові платформи використовують GPS-датчики для вимірювання місцезнаходження та геопросторового розташування джерел води. Це дозволяє точно визначати місце забору проб та встановлення датчиків, що сприяє точному визначенню походження забруднень та аналізу зони впливу на якість води [10].

4. Датчики розташування та геопросторового моніторингу: Деякі цифрові платформи використовують GPS-датчики для вимірювання місцезнаходження та геопросторового розташування джерел води. Це дозволяє точно визначати місце забору проб та встановлення датчиків, що сприяє точному визначенню походження забруднень та аналізу зони впливу на якість води [11].

Результати досліджень показують, що використання цифрових технологій у моніторингу якості води значно поліпшує передачу даних та збір інформації, що сприяє більш точному та оперативному виявленню забруднень та моніторингу параметрів водного середовища.

Дослідження проведені у межах проекту «Digital Water Monitoring» [12] показали, що застосування сенсорних мереж та Інтернету речей (IoT) значно полегшує збір даних про якість води. Дані, зібрані з різних сенсорів, передаються через бездротову мережу до централізованої системи моніторингу, що дозволяє операторам швидко отримувати доступ до актуальної інформації про стан води. Дослідники встановили, що цифровий моніторинг зменшує час від збору даних до їх аналізу та реагування на відхилення у якості води.

Додатково, дослідження в галузі цифрового моніторингу вказують на важливість розробки інтелектуальних аналітичних систем. Застосування машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє виявляти складні зв’язки між різними параметрами води та передбачати можливі ризики забруднення. Наприклад, дослідження, проведені на основі інтелектуальної системи моніторингу, показали високу ефективність у прогнозуванні змін якості води та виявленні потенційних джерел забруднення.

Рис. 3. Зовнішній вигляд датчика та ПЗ WaterBot

Оцінка точності вимірювань. Оцінка точності та надійності даних, отриманих з датчиків, є важливим аспектом цифрового моніторингу якості води. Надійність та точність даних впливають на достовірність результатів аналізу та прийняття рішень щодо управління водними ресурсами. Для забезпечення якості даних, отриманих з датчиків, необхідно враховувати декілька факторів.

Калібрування датчиків є процесом налаштування їх параметрів та перевірки відповідності вимірюваних значень стандартним величинам. Це дозволяє коректно визначати значення параметрів якості води. Регулярне калібрування датчиків допомагає зберігати їх точність та надійність протягом тривалого періоду [13]. Регулярний моніторинг якості датчиків є важливим кроком для забезпечення точності та надійності отриманих даних. Це включає перевірку правильності роботи датчиків, перевірку їх стабільності та виявлення можливих пошкоджень або відхилень у вимірюваннях. Моніторинг якості датчиків допомагає вчасно виявляти проблеми та забезпечувати надійність даних.

Для забезпечення точності та надійності даних, отриманих з датчиків, необхідно виконувати ретельний контроль якості. Це включає перевірку інтервалів вимірювання, виявлення та коригування помилок вимірювань, фільтрацію шумів та виявлення викидів даних. Застосування розумних алгоритмів та методів обробки даних допомагає забезпечити точність та надійність отриманих результатів. Для оцінки точності даних, отриманих з датчиків, важливо порівняти їх результати з результатами, отриманими за допомогою референтних методів вимірювання якості води. Це дозволяє встановити відповідність та відхилення між двома наборами даних, що сприяє підвищенню довіреності відомостей, отриманих з датчиків [14].

Оцінка точності та надійності даних з датчиків є важливим етапом в процесі цифрового моніторингу якості води. Використання вищезгаданих підходів допомагає забезпечити якість та достовірність отриманих результатів, що в свою чергу сприяє ефективному управлінню водними ресурсами та збереженню довкілля.

Порівняння результатів цифрового моніторингу з традиційними методами є важливим аспектом в оцінці ефективності та переваг цифрового підходу до моніторингу якості води. Дослідження показують, що цифровий моніторинг може мати деякі переваги порівняно з традиційними методами.

Одна з переваг цифрового моніторингу полягає в його здатності забезпечувати швидку передачу даних та отримання результатів. Традиційні методи вимагають більш тривалого процесу збору проб, транспортування до лабораторії та аналізу. У порівнянні з цим, цифрові технології дозволяють отримати результати в режимі реального часу, що забезпечує швидку реакцію на зміни в якості води. Також традиційні методи моніторингу вимагають значних витрат на лабораторне обладнання, хімічні реагенти та професіоналів для збору та аналізу проб. У той же час, цифрові технології, зокрема сенсори та IoT, можуть бути відносно доступними з точки зору вартості і забезпечувати постійне моніторингове покриття. Це може знизити витрати на моніторинг та забезпечити широкий охоплення даних.

Цифровий моніторинг може забезпечувати широку географічне покриття завдяки розподіленню датчиків у різних точках водних систем. Це дозволяє отримувати дані з великої кількості місць одночасно, що розширює масштаб інформації про якість води. У порівнянні з цим, традиційні методи вимагають фізичного збору проб з обмежених місць та обмеженого покриття. Цифрові технології, такі як сенсорні мережі та штучний інтелект, можуть відкривати нові можливості для аналізу даних та виявлення залежностей. Застосування алгоритмів машинного навчання та статистичних моделей дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати зміни та ідентифікувати потенційні проблеми в якості води. Традиційні методи моніторингу часто не мають таких розширених можливостей аналізу.

Цифровий моніторинг може бути пов'язаний з системами сповіщення та реагування, що дозволяє оперативно реагувати на зміни якості води. Завдяки автоматичній передачі даних та аналізу в реальному часі, цифрові платформи можуть виявляти небезпечні ситуації та сповіщати відповідних водокористувачів або операторів систем водопостачання для подальшої реакції. У традиційних методах такий процес може зайняти більше часу та залежати від людського фактору.

Порівняння результатів цифрового моніторингу з традиційними методами вказує на потенційні переваги цифрових технологій у вимірюванні та моніторингу якості води. Однак, важливо враховувати контекст і особливості конкретних досліджень та датчиків, а також використовувати додаткові перевірки та аналізи для підтвердження результатів.

Використання цифрового моніторингу якості води має потенціал для різних застосувань, включаючи виявлення забруднень, оцінку екологічного стану та забезпечення безпеки води. Цифровий моніторинг дозволяє постійно відстежувати параметри якості води і виявляти зміни, що можуть свідчити про наявність забруднень. За допомогою датчиків та цифрових платформ можна вимірювати рівень розчинених речовин, показники pH, концентрацію різних забруднювачів тощо. Такий постійний моніторинг дозволяє оперативно реагувати на забруднення та приймати заходи для їх ліквідації.

Цифровий моніторинг дозволяє збирати дані про біологічні показники та екосистемні процеси в водних середовищах. Наприклад, за допомогою датчиків можна виміряти рівень кисню у воді, виявляти зміни в біологічному розмаїтті та відстежувати

вплив людської діяльності на водні екосистеми. Це дозволяє оцінити стан водних ресурсів та приймати заходи для їх збереження та відновлення. Цифровий моніторинг може бути використаний для забезпечення безпеки питної води та контролю за харчовою безпекою. Шляхом постійного моніторингу параметрів якості води у системах водопостачання можна виявляти відхилення від нормативних значень та оперативно реагувати на них. Крім того, цифрові технології, такі як Інтернет речей (IoT) та сенсорні мережі, можуть використовуватись для моніторингу харчових продуктів та раннього виявлення можливих джерел забруднення.

Висновок. У цій статті було розглянуто тему цифрового моніторингу якості води і його потенціал для вдосконалення процесів вимірювання, збору та аналізу даних щодо якості водних ресурсів. Дослідження показали, що використання цифрових технологій, таких як сенсорні мережі, Інтернет речей, цифрові платформи та датчики, має численні переваги порівняно з традиційними методами моніторингу.

Цифровий моніторинг дозволяє отримувати високочастотні та реальні дані про якість води, що дозволяє виявляти забруднення та зміни в екологічному стані водних систем. Це сприяє оперативній реакції на потенційні проблеми та покращенню ефективності управління водними ресурсами. Крім того, цифрові технології дозволяють відстежувати стан води в реальному часі, що є важливим для забезпечення безпеки водопостачання та захисту здоров'я громади.

Традиційні методи моніторингу мають свої обмеження, такі як складність отримання високочастотних даних, підвищена залежність від людського фактору та обмежена покриття водних систем. Цифровий моніторинг дозволяє уникнути цих обмежень шляхом автоматизованого збору та передачі даних, аналізу в реальному часі та використання сучасних алгоритмів машинного навчання для обробки інформації.

Цифровий моніторинг також відкриває нові можливості для співпраці та обміну даними між різними зацікавленими сторонами, такими як водокористувачі, оператори водних систем, науковці та урядові органи. Це сприяє більш ефективному управлінню водними ресурсами та покращенню прийняття рішень на основі об'єктивних даних.

У підсумку, цифровий моніторинг якості води є важливим інструментом для забезпечення ефективного управління водними ресурсами, виявлення забруднень, оцінки екологічного стану та забезпечення безпеки водопостачання. Ці технології відкривають нові перспективи для вдосконалення процесів моніторингу та забезпечення сталого використання водних ресурсів.

Література

1. Bernhardt, E. S., et al. The metabolic regimes of flowing waters. Limnology and Oceanography, 62(S1). 2017. S.99-S118.
2. Khan, U. T., et al. A review of water quality monitoring and analysis methods. Water Science and Technology, 79(6). 2019. S.1103-1117.
3. Sukhija, M., & Chopra, A. Internet of Things (IoT)-enabled water quality monitoring systems: A review. Environmental Science and Pollution Research, 26(6). 2019. S. 5456-5472.
4. Hu, W., et al. Applications of GIS and remote sensing techniques in water resources management: A review. Water, 12(8). 2020. S. 2319.
5. Hlavinek, P., et al. Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programs. Elsevier. 2018.
6. Jang, H., & Lee, J. Water quality monitoring and management: a review on big data analytics and landscape tools. Journal of Water and Health, 14(3). 2016 S.349-366.
7. Khan, U. T., et al. A review of water quality monitoring and analysis methods. Water Science and Technology, 79(6). 2019. S.1103-1117.
8. WaterBot. "WaterBot – Water Quality Monitoring and Control". веб-сайт: https://www.waterbot.net/ (Дата звернення 15.07.2023)
9. Jones, S., & Brown, R. Digital Sensors for Water Quality Monitoring: A Review. Sensors, 18(9)ю 2018. S.2882.
10. Zhang, L., et al. Application of Geospatial Sensor Network in Water Quality Monitoring. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(6). 2017. S.173.
11. Chen, Y., et al. Intelligent Water Quality Monitoring System based on Artificial Intelligence. Journal of Physics: Conference Series, 1609(1). 2020. S.2001.
12. Johnson, R. D., et al. Digital Water Monitoring: Enhancing Water Quality Monitoring through Sensor Networks. Environmental Science & Technology, 53(2). 2019. S.661-672.
13. Jiao, J., et al. Calibration and validation of water quality sensors for long-term data collection in freshwater ecosystems. Journal of Hydrology, 570. 2019. S.224-235.
14. Gao, S., et al. Accuracy Assessment of Low-Cost Water Quality Sensors under Various Hydrologic and Environmental Conditions. Sensors, 19(18), 2019. S. 3846.

УДК 574.21:581.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.5

ФІТОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ У МАГІСТРАЛЬНОМУ КАНАЛІ НА ЛІВОБЕРЕЖЖІ ХЕРСОНЩИНИ ПІСЛЯ ПІДРИВУ ГРЕБЛІ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Крупєй К.С., Оверченко А.В.
Запорізький державний медико-фармацевтичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя
krupeyznu@gmail.com, overchenko.a.v@zsmu.edu.ua

Проведено фітотестування («Ростовий тест») токсичності води в Каховському магістральному каналі на окупованому лівобережжі Херсонщини після підриву греблі Каховської ГЕС (на території с. Софіївка). Зразки води відбирали 6 липня 2023 року (кількість точок забору води – 3).

Як тест-об'єкти обрали насіння звичайних сільськогосподарських рослин, що добре ростуть у досліджуваному регіоні та є недорогими й доступними, а саме: *Cucurbita pepo* (гарбуз звичайний); *Daucus carota* subsp. *sativus (морква звичайна городня); Solanum lycopersicum* (томат); *Cucurbita maxima* (гарбуз декоративний). Дослідження, проведене авторами, має методологічне та загальнонаукове значення, оскільки демонструє реальні можливості використання простих методів фітотестування для оцінки екологічного стану питної води та поверхневих водойм під час російської окупації, коли відтворити інші (інструментальні) методи аналізу води часто видається неможливим.

Органолептичні властивості води у контрольному та дослідних зразках здебільшого не перевищували норму. Проте зразок № 1 не відповідав нормативам якості за показниками запаху, забарвленості, смаку та pH. Автори рекомендують використовувати у фітотестуванні культури *D. carota* subsp. *sativus, S. lycopersicum, C. maxima,* оскільки досліджувана вода проявила помітну олігодинамічну дію на довжину коренів та паростків цих тест-рослин. Насіння рослини *C. pepo* майже ідентично відреагували на токсичність зразка № 1 та № 3 та не проростали за впливу води зі зразка № 2, тому їх не можна використовувати для оцінки токсичності води у певних ділянках водозабору, оскільки порівняльний аналіз впливу такої води та ці тест-культури є утрудненим. Перспективою подальших досліджень є збільшення кількості точок відбору проб води на КМК та розширення спектра тест-рослин, а також вивчення токсичності та якості води з КМК у динаміці. *Ключові слова:* фітотестування, ростовий тест, Каховський магістральний канал.

Phytotesting of water quality in the main canal on the left bank of the Kherson region after the Kakhovka hydroelectric power station dam was blown up. Krupiei K., Overchenko A.

Phytotesting («Growth Test») of water toxicity in the Kakhovka main canal on the occupied left bank of the Kherson region after the Kakhovka hydroelectric power station dam was blown up (in the village of Sofiyivka) was conducted. Water samples were taken on July 6, 2023 (the number of water sampling points was 3).

The seeds of plants that grow well in the study region and are inexpensive and available were chosen as test objects, namely: *Cucurbita pepo*, *Daucus carota* subsp. *sativus*, *Solanum lycopersicum*, *Cucurbita maxima*. The study conducted by the authors is of methodological and general scientific importance, as it demonstrates the real possibilities of using simple phytotesting methods to assess the ecological state of drinking water and surface water bodies during the russian occupation, when it is often impossible to reproduce other (instrumental) methods of water analysis.

The organoleptic properties of the water in the control and test samples mostly did not exceed the standard. However, sample 1 did not meet the quality standards in terms of odor, color, taste, and pH. The authors recommend the use of *D. carota* subsp. *sativus, S. lycopersicum,* and *C. maxima* in phytotesting, as the water under study had a noticeable oligodynamic effect on the length of roots and sprouts of these test plants. Seeds of *C. pepo* reacted equally to the toxicity of samples 1 and 3 and did not germinate when exposed to water from sample 2, so they cannot be used to assess the toxicity of water in certain areas of water intake, since a comparative analysis of the impact of such water and these test crops is difficult. The prospect of further research is to increase the number of water sampling points at the KMC and expand the range of test plants, as well as to study the toxicity and quality of water from the KMC in the dynamics. *Key words:* phytotesting, growth test, Kakhovka Main Canal.

Постановка проблеми. Фітотестування є різновидом біотестування, де рослинні модельні системи використовують як тест-об'єкти. Відомо, що для біотестування необхідно обирати чутливих організмів, які будуть поступово реагувати зміною певних індикаторних ознак за впливу різного роду забруднень. Важливо обирати для біотестування організми на певних (чутливих) стадіях індивідуального розвитку. Так, перспективним напрямком у фітотестуванні є пророщування тест-насіння, оскільки цей етап є найчутливішим до впливу чинників навколишнього середовища [1]. На етапі проростання тест-об'єктів проводять вимірювання широкого спектра біопараметрів (довжина коренів, паростків, фіксують морфологічні зміни кореневої та стеблової частини тощо). Окрім того, фітотестування є недорогим, простим у застосуванні методом визначення якості води / ґрунту не тільки в мирний час, але й в умовах війни та техногенних катастроф.

Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю пошуку зручних, простих, економічних методів визначення якості води на тимчасово окупованих

територіях України та / або територіях, що зазнали техногенної катастрофи.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведене дослідження демонструє можливість визначення якості питної води та господарсько-побутових вод мешканцями тимчасово окупованих територій України нескладними й легкодоступними методами фітотестування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Каховський магістральний канал (КМК) був споруджений у 1979 р. Його довжина складає близько 130 км, а весь проєктний потенціал Каховської зрошувальної системи є одним із найбільших у світі та Європі. Головна функція КМК – це забезпечення достатнього водного режиму сільськогосподарських угідь. Окрім того, КМК обводнює посушливі регіони Херсонської та Запорізької областей і забезпечує питною водою села, що розташовані уздовж каналу, а також м. Бердянськ та м. Мелітополь [2]. Після російської окупації експлуатація каналу зазнала труднощів, а ще пізніше, після підриву російськими окупантами греблі Каховської ГЕС, якість води в ньому стала стрімко погіршуватися, а рівень – знижуватися. З цього періоду КМК також активно почали використовувати для миття машин, прання, скидання відходів тощо. Виходячи з цього, ймовірними видами забруднень в КМК можуть бути не тільки комунальні скиди неочищених зворотних вод з очисних споруд населених пунктів, які знаходяться поруч, поверхневі стоки з полів у період танення снігу й опадів [3–5], але й тверди відходи та поверхнево-активні речовини. На відновлення Каховської меліоративної системи внаслідок значного зниження води знадобиться декілька років. Ситуація, що склалася, критично вплине не тільки на Херсонську область, але й частково на Запорізьку та Дніпропетровську. Тому пошук доступних і чутливих методів оцінки якості води у КМК є актуальним та першочерговим завданням сьогодення.

Мета. Визначити та порівняти якість води Каховського магістрального каналу, що відібрана у 3-х точках на окупованому лівому березі Херсонщини за допомогою фітотестування.

Об'єктом дослідження були індикаторні ознаки тест-рослин (довжина коренів та паростків) в умовах комплексного забруднення води Каховського магістрального каналу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В умовах окупації проведення наукових досліджень, у тому числі екологічного моніторингу, здебільшого стає неможливим. Автори пропонують використовувати доступний метод «Ростового тесту» для швидкої та інформативної екологічної оцінки стану поверхневих джерел та питної води на прикладі визначення якості води Каховського магістрального каналу на території с. Софіївка Херсонської області.

Новизна. Вперше було проведено фітотестування якості води Каховського магістрального каналу на лівобережжі Херсонщини з урахуванням наслідків техногенної катастрофи, що сталася в червні 2023 року (підрив греблі Каховської ГЕС).

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведені авторами дослідження якості води у КМК методами фітотестування демонструють реальні можливості застосування розповсюджених тест-рослин та їх ознак для оцінки екологічного стану поверхневих водойм населених пунктів України в умовах російської окупації.

Матеріали та методи дослідження. Визначення органолептичних, фізико-хімічних властивостей зразків води та порівняння їх з санітарними нормами проводили за наказом МОЗ України № 400 від 12.05.2010 року (зі змінами) та методичними рекомендаціями [6–9].

Токсичність досліджуваних зразків води визначали за допомогою методу «Ростового тесту». В якості тест-культур були обрані рослини, що швидко проростають та вирощуються у Херсонській області:

1 – *Cucurbita pepo* (гарбуз звичайний);

2 – *Daucus carota* subsp. *sativus (морква звичайна городня);*

3 – Solanum lycopersicum (томат);

4 – *Cucurbita maxima* (гарбуз декоративний).

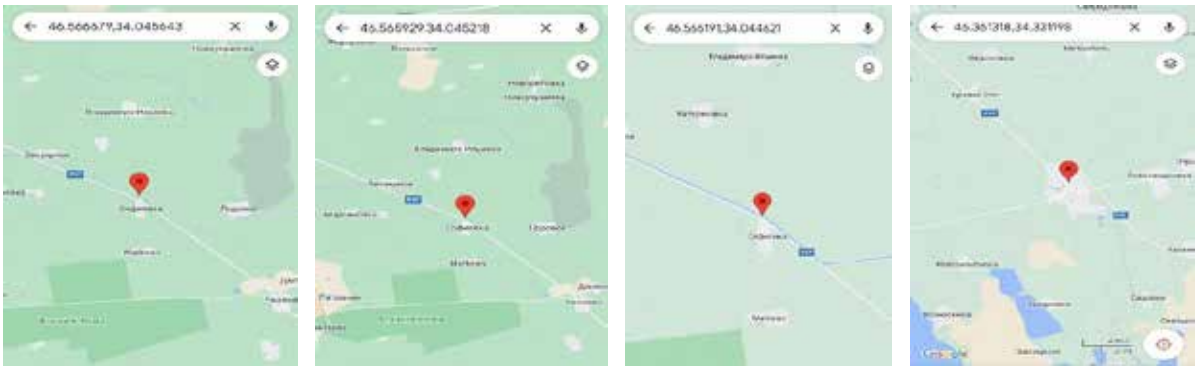
Зразки води відбирали 6 липня 2023 року (через місяць після підриву російськими окупантами греблі Каховської ГЕС). Місце відбору – Каховський магістральний канал, що бере початок з Каховського водосховища. Зона затоплення знаходиться за 35 км від досліджуваних точок, де відбирали зразки води. Місця відбору проб розташовані в Каховському районі на території с. Софіївка Херсонської області (рис. 1, 2). Точка відбору проби води № 1 розташована за 60 км від місця підриву Каховської ГЕС; № 2 – за 59 км; № 3 – за 58 км від місця підриву Каховської ГЕС.

Проби відбирали починаючи з ділянки № 1 (вище за течією), потім – № 2 та № 3 (нижче першого місця забору води). Контролем була кип'ячена відстояна водогінна вода, забрана в смт Новотроїцьке Херсонської області (100 км від місця підриву Каховської ГЕС). Відбір проб води проводили у чисті пастеризовані скляні місткості з широким горлом. Температура води на момент відбору проб коливалася від +20 до +22,5 ºС, температура атмосферного повітря – +26 ºС. Опади відсутні.

Перед висаджуванням насіння в чисті пластикові тари (з перегородками) у два шари розкладали марлю та зволожували кожний зразок однаковою кількістю досліджуваної води. Після цього насіння розклали на вологу марлю та на три доби накрили ємності склом. Два-три рази на добу ємності відкривали на провітрювання протягом 15 хв. На 4-ту добу

Точка відбору № 1 Точка відбору № 2 Точка відбору № 3

Рис. 1. Фото місцевості, де відбирали зразки води з Каховського магістрального каналу



Зразок № 1 Зразок № 2 Зразок № 3 Контроль

Рис. 2. Точки відбору проб води з Каховського магістрального каналу на карті

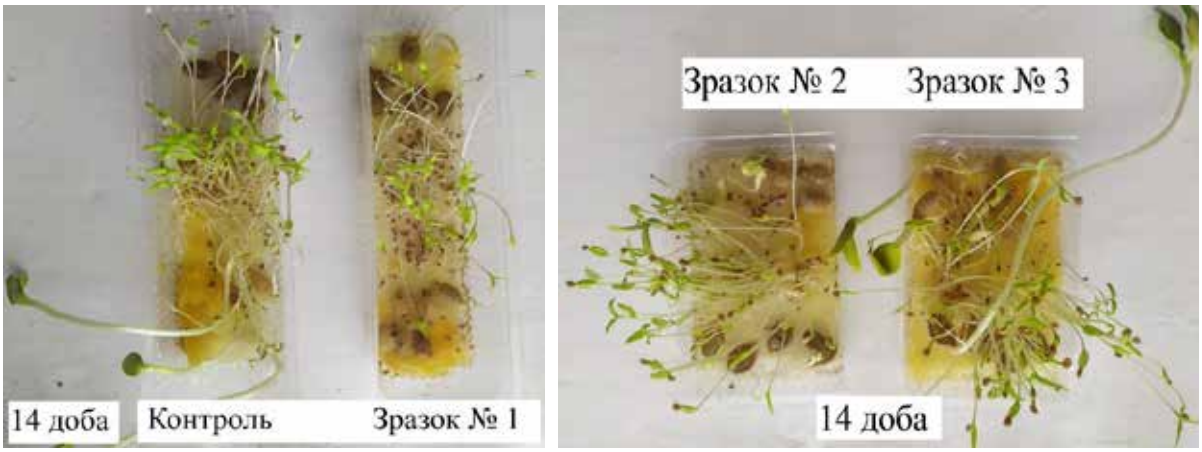


Рис. 3. Ріст тест-культур у досліджуваних зразках води

відкриті ємності поміщали на полицю, де підтримувалося освітлення протягом 14-ти годин (без прямого потрапляння сонячних променів). Вирощували тест-культури протягом 2-х тижнів з періодичним додаванням зразків води у ємності по мірі висихання та вивченням морфологічних змін (раннього пожовтіння, відхилень у розвитку кореневої системи, паростків не виявлено) (рис. 3). Дослід проводили у 3-х кратній повторності (кількість насінин – по 20 шт.). На 2-му тижні рослини обережно виймали, підсушували на аркуші білого паперу та проводили вимірювання у кожного елемента вибірки довжини кореневої частини й паростків.

Обробка результатів ростового тесту. Після вимірювання необхідних біопараметрів, проводили обчислення середнього арифметичного ($X_{ср.}$) довжини кореня та паростків (L, см) кожного зразка та розраховували x±m, де m – похибка середнього

арифметичного. Статистичну достовірність середніх арифметичних розраховували за t-критерієм Стьюдента-Фішера [9, 10]. Фітотоксичний ефект (ФЕ) визначали у % за 2-ма біопараметрами: L кореня та L паростків за формулою [9]:

$$ФЕ = \frac{M0 - Mx}{M0} \cdot 100\%,$$

де M_0 – значення біопараметра у контрольному зразку; Мх – значення аналогічного біопараметра у дослідній пробі.

Всі обчислення проводили у програмі MS Excel 2010.

Результати дослідження та їх обговорення. Органолептичні властивості води у контрольному та дослідних зразках здебільшого не перевищували норму (табл. 1). У зразку № 1 за температури 20 ºС відмічався ледве помітний болотяний запах, проте за умов підігрівання води на водяній бані до температури 60 ºС запах дещо посилився та став гнильним і трохи землистим й хімічним (3 бали). Ймовірним джерелом такого запаху може бути сира земля та потрапляння органічних й неорганічних полютантів у воду. Забарвленість та каламутність води у контролі та дослідних зразках не перевищувала норму (окрім проби № 1). У 1-му зразку відмічався помітний блідо-зелений колір (40 балів). Турбідиметричне вимірювання каламутності показало, що всі зразки мають слабку опалесценцією, що свідчить про відсутність тонкодисперсних домішок. За показником «Смак та присмак» не відповідав нормам лише зразок води № 1 (відмічений солодкий смак). У контрольному зразку присмак був слабко-солоний. За водневим показником контрольний зразок води був слабколужний, що може бути пов'язано з наявністю підвищеного вмісту у воді $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$. У варіанті № 1 pH води дорівнював 6,0 (при нормі водневого показника у поверхневих водах від 6,5 до 8,5 [1]). У зразку № 2 та № 3 pH зареєстрований на рівні 6,5 і 7,2, відповідно.

Оцінку токсичності води з КМК проводили на 4-х видах тест-рослин. Фітотоксичний ефект (ФЕ) 2-го зразку досліджуваної води на тест-культуру *C. repo* був 100 % (протягом 2-х тижнів росту коренів та паростків не спостерігалося) (табл. 2).

Вода варіанту № 1 та № 3 проявила майже однаковий негативний вплив на ці тест-рослини. Довжина коренів була 5,2 та 4,9 см, а паростків – 16,5 та 15,5 см, відповідно (при $p \leq 0,001$). Проте обидва зразки води були у 2 рази токсичнішими на корені рослин ніж на паростки.

Протилежні результати були отримані з тест-культурою *D. carota* subsp. *sativus* (табл. 3). *Досліджувані проби води з КМК були більш токсичними для парост-*

Таблиця 1

Визначення органолептичних та деяких фізико-хімічних показників зразків води з магістрального каналу та контролю

Найменування показника	Контроль	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Запах при Т 20 ºС, бали	0	1 (болотяний)	0	0
Запах при Т 60 ºС, бали	1 (металевий)	3 (гнильний)	1 (металевий)	0
Забарвленість, градуси	< 10	40 (блідо-зелений колір)	20	< 10
Каламутність, мг/дм^3	< 1	2,5	2	1,5
Смак і присмак, бали	< 2 (солоний присмак)	4 (солодкий смак)	0	0
Водневий показник (pH)	7,9	6,0	6,5	7,2

Таблиця 2

Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту» (тест-рослини – Cucurbita repo)

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{ср.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	7,08	8,5±0,46	-	$X_{ср.}$
	L паростків	2,66	20,5±0,27	-	
Варіант 1	L коренів	0,47	5,2±0,08**	38,8	29,1
	L паростків	0,81	16,5±0,14**	19,5	
Варіант 2	L коренів	-	-	100	100
	L паростків	-	-	100	
Варіант 3	L коренів	0,41	4,9±0,09**	42,3	33,3
	L паростків	3,9	15,5±0,32**	24,4	

Примітка тут та далі: *$p \leq 0,01$, **$p \leq 0,001$.

Таблиця 3

Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту» (тест-рослини – Daucus carota subsp. sativus)

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{ср.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	1,24	3,0±0,12	-	$X_{ср.}$
	L паростків	0,61	6,9±0,08	-	
Варіант 1	L коренів	1,29	$1,7\pm0,11_{**}$	43,3	51,4
	L паростків	1,23	$2,8\pm0,13_{**}$	59,4	
Варіант 2	L коренів	1,21	$2,0\pm0,12_{**}$	33,3	42,8
	L паростків	0,72	$3,3\pm0,14_{**}$	52,2	
Варіант 3	L коренів	1,99	$3,9\pm0,33_{*}$	23,0[1]	-
	L паростків	2,44	6,4±0,31	7,2	

Примітка: 1У зразку № 3 відмічений стимулюючий вплив води на ріст коренів порівняно з контролем.

Таблиця 4

Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту» (тест-рослини – Solanum lycopersicum)

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{ср.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	0,22	3,5±0,10	-	$X_{ср.}$
	L паростків	0,33	8,1±0,09	-	
Варіант 1	L коренів	0,02	$0,6\pm0,02_{**}$	82,8	81,5
	L паростків	0,14	$1,6\pm0,08_{**}$	80,2	
Варіант 2	L коренів	0,24	$2,2\pm0,16_{**}$	37,1	43,8
	L паростків	0,96	$4,0\pm0,26_{**}$	50,6	
Варіант 3	L коренів	0,23	$2,4\pm0,19_{**}$	31,4	20
	L паростків	1,32	$7,4\pm0,23_{**}$	8,6	

ків ніж коренів. ФЕ $_{ср.}$ зразку № 1 дорівнював 51,3 %, № 2 – 42,8 %. Цікавим були результати «Ростового тесту» при вивченні токсичності води 3-го варіанту, де не було відмічено рівня статистичної значущості токсичного ефекту на паростки, проте у контрольному зразку довжина кореневої частини була нижчою ніж в пробі № 3 (в 1,3 рази). Цей зразок води проявив стимулюючий ефект на ріст коренів D. carota subsp. *sativus (при* $p \leq 0,01$). При вивченні органолептичних показників можна відмітити, що зразок № 3 за деякими параметрами більше був наближений до нормативних показників ніж контроль (а саме за запахом за Т 60 ºС, смаком і присмаком та pH).

Для тест-насінин *S. lycopersicum* найбільший ФЕ проявила вода зразка № 1 (81,5 %). Відмічена тенденція геометричної прогресії (токсичність води знижується у міру зниження течії): ФЕ зразка № 2 у 2 рази менший ніж варіанту № 1 та у 2 рази більший у порівнянні з 3-м варіантом (табл. 4). Попри такий результат, вода зразку № 2 проявила в 1,3 раза токсичніший ефект на паростки тест-рослин, а варіант № 3 – на кореневу частину (у 3,6 раза).

Тест-культура C. maxima не проросла на досліджуваній воді № 1 (ФЕ – 100 %). Вода 2-го та 3-го варіанту проявила у 2,9 і 7,4 раза, відповідно, більший ФЕ на корені ніж на паростки *C. maxima* (табл. 5). Проте довжина коренів тест-рослин у варіанті № 3 достовірно не відрізнялася від контролю. Також відмічена тенденція зниження рівня токсичності води від 1-го до 3-го зразка.

Отже, після порівняння отриманих результатів «Ростового тесту», органолептичних і деяких фізико-хімічних показників води з певних ділянок КМК можна зазначити, що зразок води № 1 не відповідав нормам за показниками забарвленості, смаку та водневим показником у порівнянні з іншими варіантами.

Найбільша олігодинамічна дія на вивчені показники була у тест-культури *D. carota* subsp. *sativus, S. lycopersicum* та *C. maxima.* Насіння тест-рослини *C. pepo* однаково відреагували на токсичність зразків № 1 та 3.

Головні висновки. Для оцінки токсичності питної води та поверхневих джерел водопостачання пропонуємо використовувати зручний та доступний метод «Ростового тесту» із використанням наступних тест-рослин: *D. carota* subsp. *sativus, S. lycopersicum, C. maxima.* Проведені дослідження на прикладі води з Каховського магістрального каналу, відібраної в 3-х місцях забору, продемонстрували, що забруднена вода чинить олігодинамічну дію на біопараметри (довжину кореня та паростків) цих тест-культур, що є цінним аспектом у біотестуванні.

Таблиця 5

Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту» (тест-рослини – Cucurbita maxima)

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{ср.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	0,48	2,8±0,23	-	$X_{ср.}$
	L паростків	1,64	14,2±0,18	-	
Варіант 1	L коренів	-	-	100	100
	L паростків	-	-	100	
Варіант 2	L коренів	0,83	2,4±0,21	14,3	27,9
	L паростків	0,78	$8,3\pm0,19_{**}$	41,5	
Варіант 3	L коренів	0,72	2,7±0,18	3,6	15,2
	L паростків	0,74	$10,4\pm0,14_{**}$	26,8	

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження можна використовувати на навчальних заняттях з «Гігієни та екології», «Біоіндикації та біотестування», «Ландшафтної меліорації» тощо. Результати фітотестування можуть допомогти визначити екологічні ризики від забруднення води різними полютантами, ксенобіотиками та оцінити їхні впливи на біопараметри тест-рослин. Одержані висновки фітотестування дозволяють рекомендувати використовувати метод «Ростового тесту» для оцінки токсичності питної води та води інших категорій водопостачання та водокористування. Перспективою подальших досліджень є збільшення кількості точок забору води на КМК та спектру тест-рослин, вивчення зміни токсичності та якості води з часом, що є важливим показником екологічного стану водних ресурсів.

Література

1. Сидорович М.М. Науково-дослідницький практикум з біотестування : навчальний посібник для підготовки магістрів зі спеціальностей 014. Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), 091. Біологія. Херсон : ФОП Вишимирський В.С., 2019. 80 с.
2. Василюк Л.А., Непша О.В. Каховський магістральний канал як елемент меліоративного навантаження на природний ландшафт. *Актуальні виклики сучасної науки.* 2017. Вип. 5(13). С. 127-132.
3. Хохлова Л., Лукашов Д. Якість води у магістральному каналі Каховської зрошувальної системи. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка.* 2018. Вип. 4(73). С. 24-29.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області за 2015–2017 роки Департаментів екології та природних ресурсів Херсонської й Запорізької обласної державної адміністрації [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.menr.gov.ua
5. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : навчальний посібник. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
6. Наказ МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400 Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (із змінами, внесеними наказами МОЗ України від 18.02.2022 р. № 341).
7. Мислюк О.О. Основи хімічної екології : навчальний посібник. К. : Кондор, 2012. 660 с.
8. Кузишин О.В., Базюк Л.В. Хімія гідросфери : конспект лекцій. Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника», 2018. 78 с.
9. Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до практичних робіт. Рівне : Дока-центр, 2018. 77 с.
10. Голованова І.А., Бєлікова І.В., Ляхова Н.О. Основи медичної статистики : навчальний посібник для аспірантів та клінічних ординаторів. Полтава : ВДНЗУ «УМСА», 2017. 113 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://elib.umsa.edu.ua/bitstream/umsa/10614/1/Posibnik_Statistika_17.pdf

УДК 502.36: 504.064.4: 504.53
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.6

КОМПЛЕКСНИЙ ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ТЕРИТОРІЙ, ПОСТРАЖДАЛИХ ВНАСЛІДОК ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Телюра Н.О., Ломакіна О.С., Лукашевич Д.С.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
natalya.telyura@kname.edu.ua, olha.lomakina@kname.edu.ua, darialukashevych@gmail.com

Розглянуто та систематизовано наукові підходи та принципи дослідження глобальних кліматичних змін в межах територій постраждалих внаслідок лісових пожеж. Урахування довкіллєвого аспекту у післявоєнній відбудові України, що комплексно поєднує принципи збалансованого використання природних ресурсів і ефективне управління на шляху збереження довкілля на засадах сталого розвитку є актуальним. Використання системного підходу при визначенні закономірностей розробки організаційно-економічних та природоохоронних заходів задля підвищення рівня екологічної безпеки регіонів України обґрунтовано запровадженою політичною спрямованістю України щодо досягнення цілей сталого розвитку та завдань і проєктів Плану відновлення [1].

Окреслено та враховано екологічні аспекти територій постраждалих внаслідок лісових пожеж, шляхом виявлення потенційних загроз та розроблення рекомендацій щодо відновлення стану довкілля на засадах сталого розвитку, з використанням даних, ERA5, ECMWF п'ятого покоління, що охоплює часовий діапазон з 1979 по 2022 роки, Fire Information for Resource Management System (FIRMS) за період 2022 р.

Результати проведених досліджень є невід'ємною частиною у процесі підвищення достовірності експертного оцінювання по задачі розробки та впровадження процедури переходу від безпосереднього застосування кількісних даних до проведення визначення домінуючих зв'язків між елементами ієрархії з врахуванням залежності між всіма елементами задачі та визначення інноваційних рішень та підходів, нормативної бази та соціальних зв'язків, які найліпшим чином забезпечать урахування довкіллєвого аспекту у післявоєнній відбудові України на принципах та засадах сталого розвитку. *Ключові слова:* організаційно-економічні інструменти, сталий розвиток, джерела забруднення атмосфери, якість повітря, нормативна база природоохоронної діяльності, інноваційні рішення

A comprehensive innovative approach to assessing the areas affected by forest fires. Teliura N., Lomakina O., Lukashevych D.

The article considers and systematizes scientific approaches and principles of global climate change research for the territories affected by forest fires. Taking into account the environmental aspect in the post-war reconstruction of Ukraine on the principles of balanced use of natural resources and effective management towards environmental conservation on the basis of sustainable development is relevant. A systematic approach to studying the patterns of development of organizational, economic, and environmental measures to improve the level of environmental safety of the regions of Ukraine is justified by the political orientation of Ukraine towards achieving the goals of sustainable development and the tasks and projects of the Recovery Plan [1].

The environmental aspects of the territories affected by forest fires were identified and taken into account by identifying potential threats and developing recommendations for environmental restoration on the basis of sustainable development, using data from ERA5, ECMWF of the fifth generation, covering the time period from 1979 to 2022, Fire Information for Resource Management System (FIRMS) for the period 2022.

The results of the research will help to increase the reliability of expert assessment of the task where it is necessary to develop a procedure for the transition from the direct use of quantitative data to the determination of the dominant relationships between the elements of the hierarchy, taking into account the dependence between all elements of the task and the identification of innovative solutions and approaches, regulatory framework and social relations that will best ensure the consideration of the environmental aspect in the post-war reconstruction of Ukraine on the principles and principles of sustainable development. *Key words:* organizational and economic instruments, sustainable development, sources of air pollution, air quality, regulatory framework for environmental protection, innovative solutions.

Постановка проблеми. Процеси інтеграції, імплементованих у національну нормативну базу кліматичних цілей, в усі сектори економіки та суспільного життя, вимагатиме розробки та поетапної реалізації ефективної та послідовної політики при соціально-економічному плануванні відновлення, узгодженої з кліматичними цілями ЄС у напрямку скорочення викидів парникових газів, включаючи озоноруйнівні речовини та фторовані парникові гази.

Актуальність дослідження. Приділення уваги до питань високої вуглецевої інтенсивності економіки, її низької спроможності до адаптації і відповідно соціо-еколого-економічна стійкість до зміни клімату, визначено як ключові виклики у [1].

Недостатній потенціал для запобігання потраплянню озоноруйнівних речовин в навколишнє середовище, поступове збільшення споживання фторованих парникових газів як замінників озоноруйнівних речовин, вимагає розробки та впровадження заходів, інноваційних рішень, нормативних змін та дій, але з урахуванням відповідності показникам і підходам, закріпленим у законодавстві України, а також, зва-

жаючи на політику приєднання України до ЄС, відповідного законодавства ЄС.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. З метою виконання міжнародних зобов'язань, завдань, передбачених Законом України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [2], а також затвердженого плану заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року (розпорядження КМУ № 878-р від 6.12.2017 р.), а також у рамках Угоди про Асоціацію Україна – ЄС було прийнято ряд документів [3]: розпорядження КМУ від 30.07.2021 № 868 «Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди»; розпорядження КМУ від 20.10.2021 р. № 1363-р «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року»; Закон України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» та підзаконні акти, що дозволяють на основі отриманих даних Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів розпочати процес формування рамок національної системи торгівлі викидами відповідно до вимог Директиви 2003/87/ЄС; Закону України «Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами» відповідно до Регламенту 842/2006, Регламенту (ЄС) № 2037/2000, Регламенту (ЄС) № 517/2014, Регламенту (ЄС) № 1005/2009. Основні положення Регламенту 2018/1999, який встановлює загальну рамку інтегрованої кліматичної та енергетичної політики закладено у розроблений проєкт Закону «Про основні засади низьковуглецевого розвитку України на період до 2050 року» [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Автор у [4] визначає, що наслідки існуючих загроз можуть бути значно високими, і останніми роками вони спостерігаються все більше. За даними [5] підвищення температури атмосферного повітря спричиняє і підвищення концентрації озону. Викиди парникових газів зростають, оскільки двадцяти найбільшим країнам світу, що здійснюють близько сімдесяти відсотків світових викидів парникових газів, наразі значною мірою не вдалося здійснити необхідні трансформаційні зміни [5].

Війна вносить власні непоправні наслідки погіршення стану довкілля. Автори у [6] звертають увагу, що пряма шкода, завдана довкіллю, є водночас і опосередкованою шкодою для життя та здоров'я населення. У дослідженні [6] перелічено основні наслідки військових дій, які матимуть негативний вплив на довкілля та здоров'я людей, через збільшення ризиків отруєння, зокрема важкими металами; зниження якості та шляхів доступу до питної води; масштабні атаки призводять до пошкодження ґрунту, втрати його родючості, що призводить до продовольчої небезпеки населення України та світу [6].

У дослідженні [7], визначено, що у всьому світі наслідки впливу збройних конфліктів для довкілля спричиняють значні негативні ефекти, які чинять значний вплив на розвиток країн та призводять до додаткових втрат.

Аналітичні дослідження [8] проведені науковцями, визначають, що лісові екосистеми, мабуть, отримують найбільший вплив, як від змін клімату так і від бойових дій. Причини виникнення лісових пожеж розширено, завдяки масованого застосування артилерії по об'єктах в лісах та поблизу них, що є додатковою причиною для їх виникнення, що у посушливих кліматичних умовах можуть знищити тисячі гектарів лісу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Збереження природних екосистем і біологічного різноманіття, відновлення та розвиток природоохоронних територій та об'єктів стає одним з ключових завдань повоєнного відновлення та розвитку природоохоронних територій, збереження біорізноманіття, збільшення площ природних екосистем та збалансування ландшафтів (збалансування структури ландшафтів для збереження природних екосистем та біорізноманіття, створення ефективної системи управління природоохоронними територіями з метою їх відновлення та розвитку).

Ключовими аспектами для вирішення комплексу проблем є сучасні екологічно безпечні інноваційні технології та заходи, які сприятимуть забезпеченню покращення стану природного середовища та ресурсів. В ЄС [9] екологічно безпечні інноваційні рішення, які забезпечують захист навколишнього середовища та раціональне управління природними ресурсами, вважаються найкращими екологічними методами. Обґрунтування напрямів поступової інтеграції стандартів та норм, сприятиме досягненню європейських стандартів державного управління у галузі охорони довкілля [10].

Новизна. Шалені негативні масштаби пожеж, актуалізують питання оцінки вразливості територій постраждалих внаслідок лісових пожеж та дослідження закономірностей розробки природоохоронних заходів відновлення екосистем на засадах сталого розвитку.

Мета – охарактеризувати екологічні аспекти вразливості територій постраждалих внаслідок лісових пожеж шляхом виявлення потенційних загроз та розроблення рекомендацій щодо відновлення стану довкілля на засадах сталого розвитку.

Методологічне значення. У дослідженні використано дані, ERA5, реаналіз атмосфери глобального клімату ECMWF п'ятого покоління, що охоплює часовий діапазон з 1979 по 2022 роки, з просторовою роздільною здатністю 30 км [11]. Інтенсивність

та кількість пожеж визначались за даними Fire Information for Resource Management System (FIRMS) за період 2022 р. [12]. Коефіцієнт кореляції розраховувався за усталеною методикою [13].

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети щодо вивчення взаємного впливу кліматичних змін та кількості пожеж, було проаналізовано багаторічні дані коливання температур та опадів на досліджуваній ділянці (с. Новомикільське Міловського району Луганської області). Діаграми (рис. 1) ілюструють як зміни клімату вплинули на територію дослідження за останні 30 років [11].

У верхній частині графіку середньорічної температури, пунктирна синя лінія – лінійна тенденція зміни клімату. У нижній частині цього графіка зображені смуги потепління. Кожна кольорова смуга представляє середню температуру за рік – синя для холодніших і червона для теплих років.

На рис. 2-3 представлено графіки, що демонструють аналіз змін температури за два періоди. Такий показ результатів є вдалим, оскільки можна відстежити певні тенденції динаміки показників.

Щодо опадів – кількість опадів взимку змінюється значно більше, ніж в інші періоди. На рис. 4 представлено річні зміни опадів на території дослідження. Пунктирна синя лінія – лінійна тенденція зміни клімату. Поступове зниження лінії тренду характеризує зменшення кількості опадів на території останніми роками.

Смуги опадів позначають загальну кількість опадів за рік: зелена для вологих років і коричнева для більш сухих років.

Щомісячні аномалії температури та опадів за період 1979 по 2023 рр. території дослідження представлено на рис. 5.

На рис. 5 показана аномалія температури для кожного місяця з 1979 року до теперішнього часу.

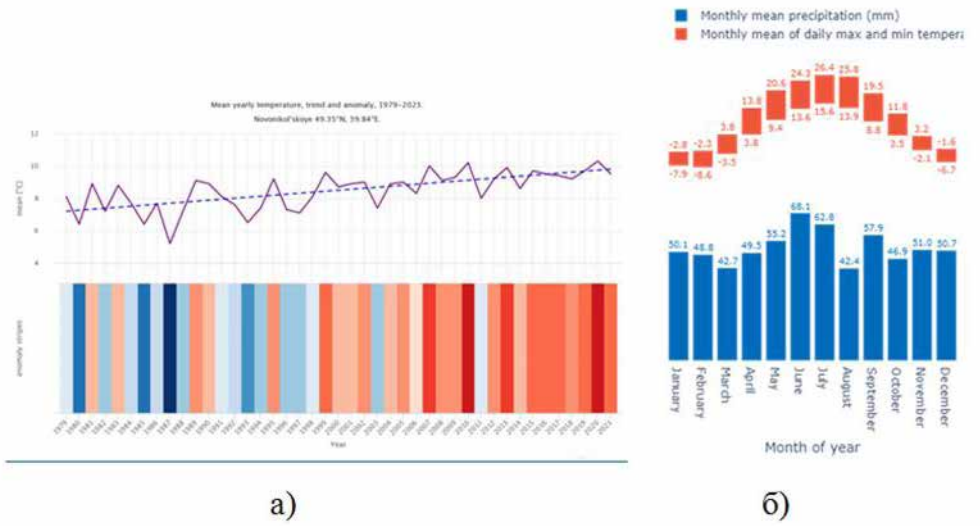


Рис. 1. Зміна температур на території дослідження: а) середньорічних температур за період 1979-2021 рр.; б) середньодобові максимальні та мінімальні температури для кожного місяця року

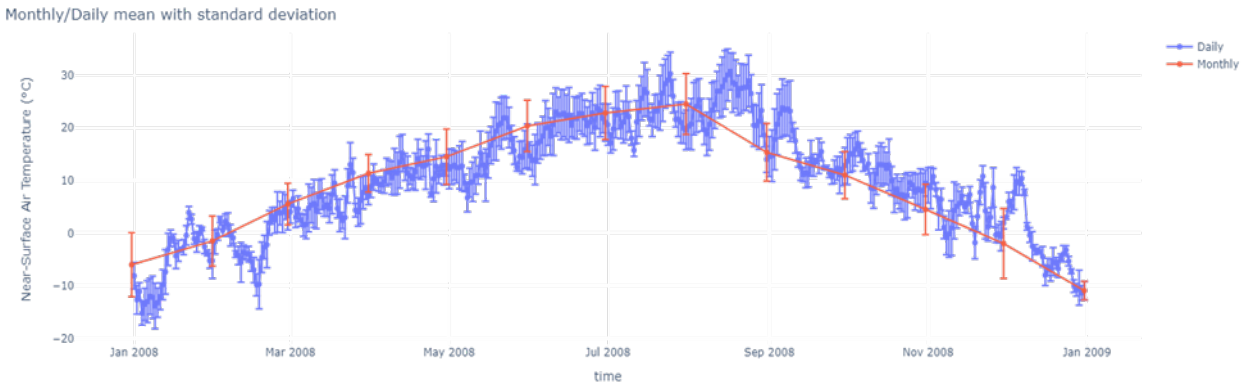


Рис. 2. Тенденції зміни температури повітря 2008-2009 рр.

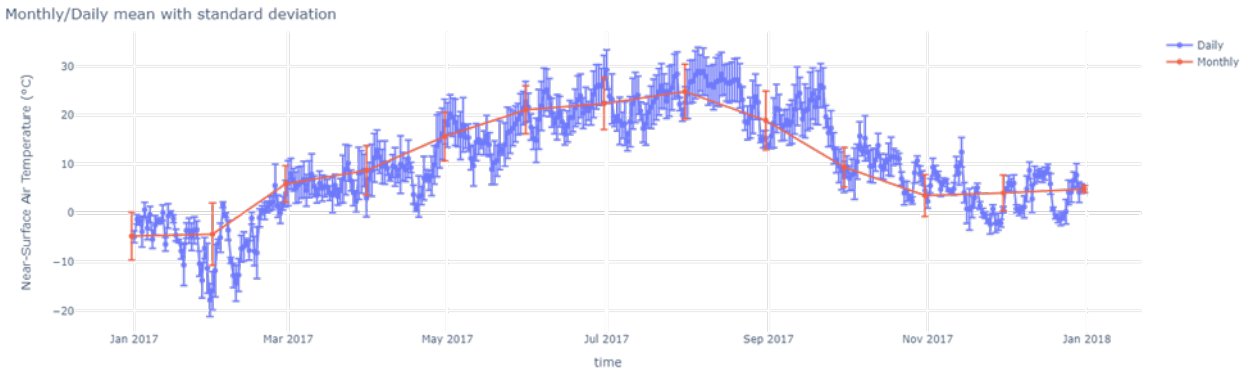


Рис. 3. Тенденції зміни температури повітря 2017-2018 рр.

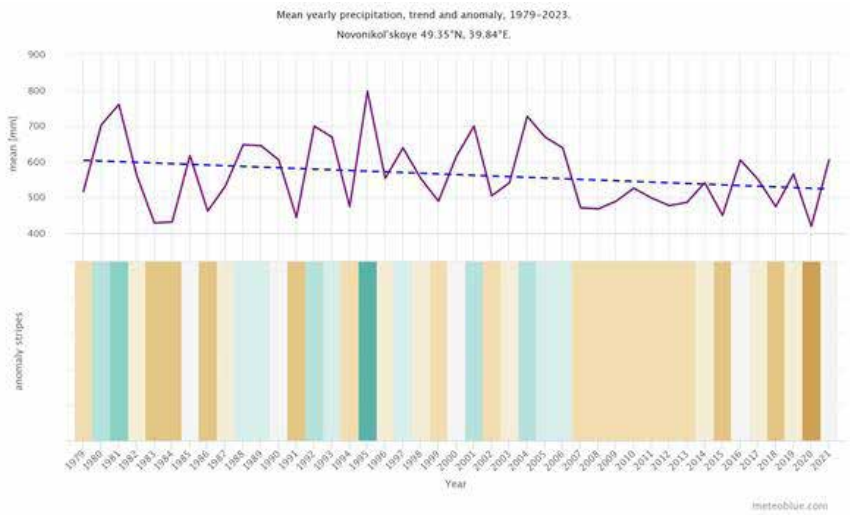


Рис. 4. Річні зміни опадів на території дослідження за період 1979-2021 рр.

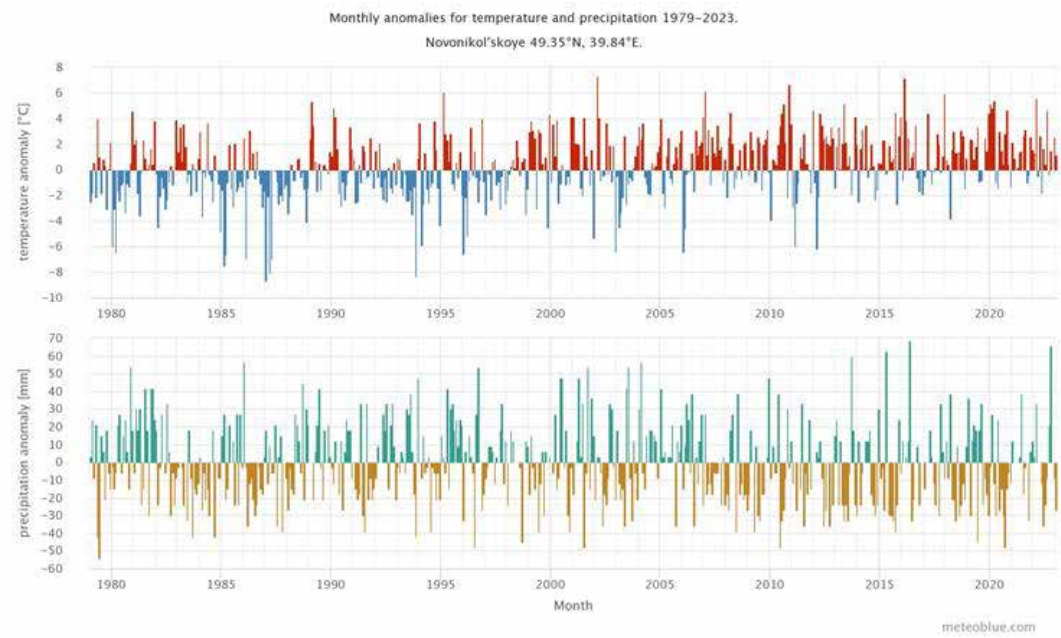


Рис. 5. Щомісячні зміни аномалій температури та опадів території дослідження за період 1979-2023 рр.

Аномалія визначає, наскільки було тепліше або холодніше середнього кліматичного значення за 30 років 1980-2010 років. Таким чином, червоні місяці були теплішими, а сині – холоднішими, ніж зазвичай. Аномалія опадів за кожний місяць з 1979 р. до теперішній час, дає можливість визначити, чи було на місяць більше чи менше опадів, ніж середнє кліматичне значення за 30 років із 1980 по 2010 рік. Таким чином, зелені місяці були вологішими, а коричневі – сухішими, ніж зазвичай.

На підставі аналізу даних систематичних спостережень виконано прогноз зміни опадів за різними сценаріями у період до 2100 року (рис. 6).

Прогноз зміни температури теплих місяців (квітень-жовтень) у період до 2100 року (рис. 7).

При RCP 8.5, викиди продовжували зростати протягом 21 століття. Сценарій RCP 8.5, який часто розглядається як основа для найгірших сценаріїв зміни клімату, заснований на завищенні прогнозованого видобутку вугілля. Як наслідок, сценарій RCP 8.5 був предметом суперечок, і в одному звіті говорилося, що він «з кожним роком стає все менш достовірним», тоді як інший стверджує, що його корисність заснована на його придатності порівняно з іншими шляхами, як для відстеження історичних кумулятивних загальних викидів CO_2, так і для прогнозування викидів у середині століття на основі поточної та встановленої політики.

Сценарій RCP 8.5 Прогноз зміни кількості опадів у період до 2100 року (рис. 8). Прогноз зміни темпе-

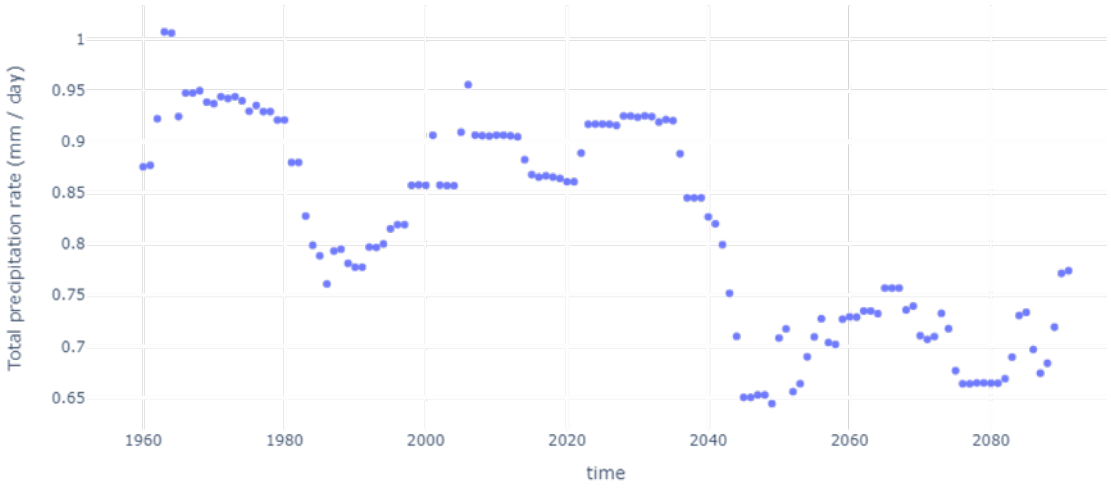


Рис. 6. Прогноз зміни кількості опадів у період до 2100 року. Сценарій RCP 4.5

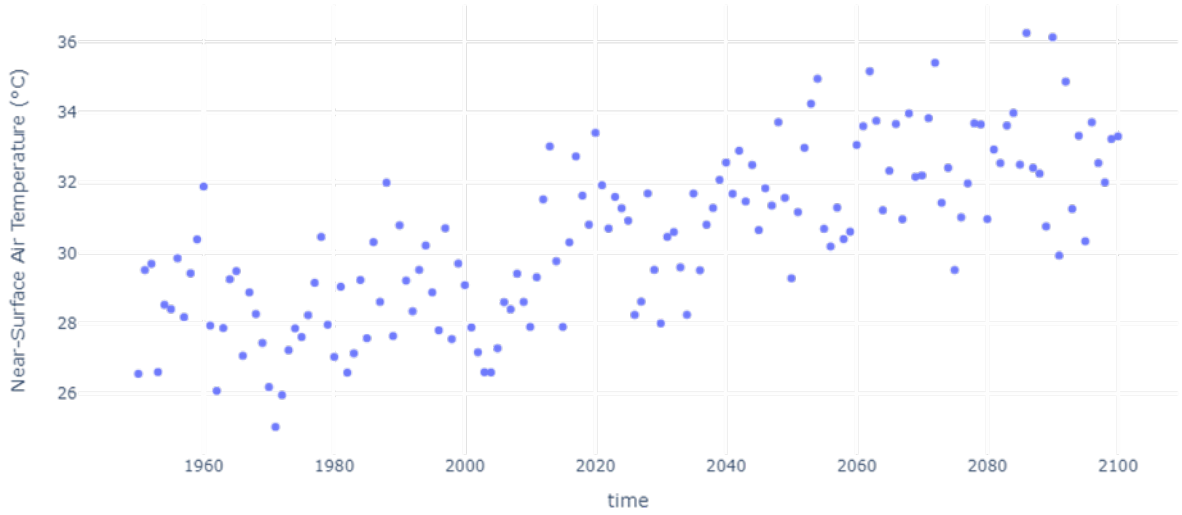


Рис. 7. Прогноз зміни температури теплих місяців (квітень-жовтень) у період до 2100 року. Сценарій RCP 4.5

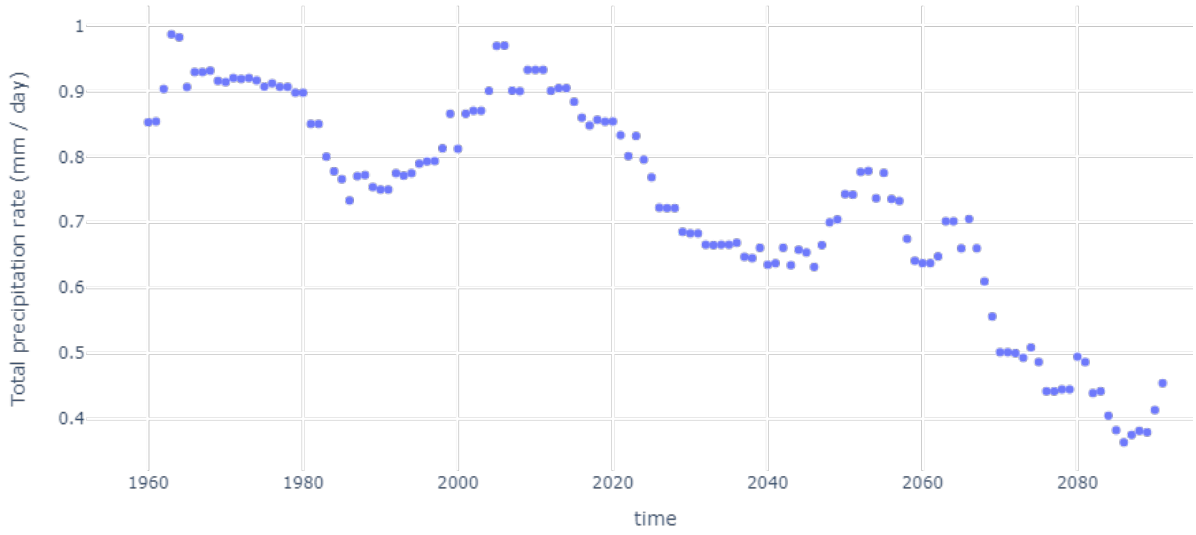


Рис. 8. Прогноз зміни кількості опадів у період до 2100 року. Сценарій RCP 8.5

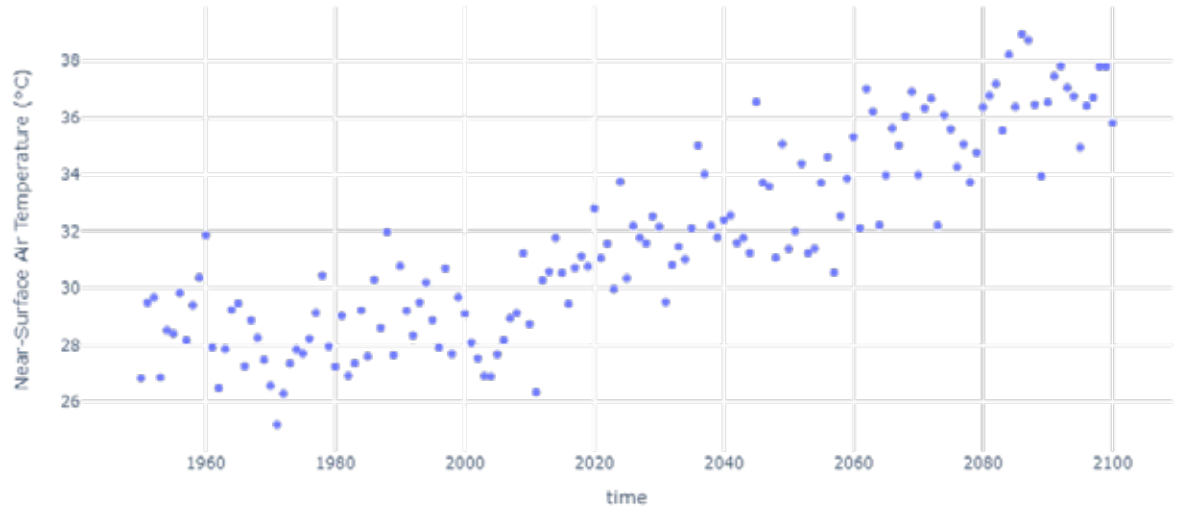


Рис. 9. Прогноз зміни температури теплих місяців (квітень-жовтень) у період до 2100 року. Сценарій RCP 8.5

ратури теплих місяців (квітень-жовтень) у період до 2100 року (рис. 9).

Прогнози зміни температури в теплі місяці (з квітня по жовтень) до 2100 року показують подальше підвищення для двох досліджуваних сценаріїв зміни клімату. З іншого боку, кількість опадів буде катастрофічно зменшуватися в обох сценаріях, які, згідно з літературними даними, є переважно спонтанними та відхиляються від традиційної сезонності опадів.

За картою пожеж за період з січня по грудень 2022 р. за даними Fire Information for Resource Management System (FIRMS) визначено їх кількість (рис 10).

На основі отриманих даних, розраховано коефіцієнт кореляції між показниками температури повітря та кількістю пожеж. За результатами розрахунку отриманий коефіцієнт кореляції є статистично надійним r = 0.81. Кожна точка на рис. 11 відображає один місяць, коли спостерігалася значна кількість пожеж за період 2022 р. (рис. 11).

На рис. 11 більшим значенням абсциси відповідають переважно більші значення ординати, тобто спостерігаємо позитивну кореляцію між аналізованими величинами. Числовою мірою кореляції є коефіцієнт кореляції, який найчастіше позначається r. Він може набувати значень у діапазоні (-1; 1). Чим більшим є абсолютне значення коефіцієнта кореляції, тим

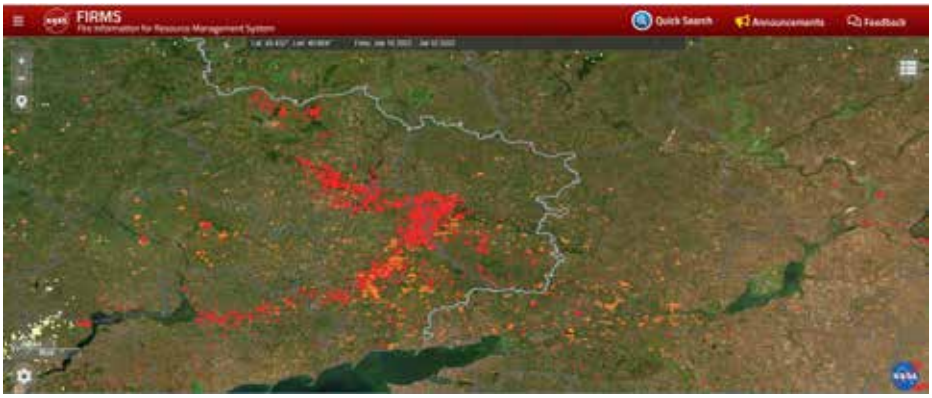


Рис. 10. Карта пожеж за період червень липень серпень 2022 р. за даними Fire Information for Resource Management System (FIRMS)

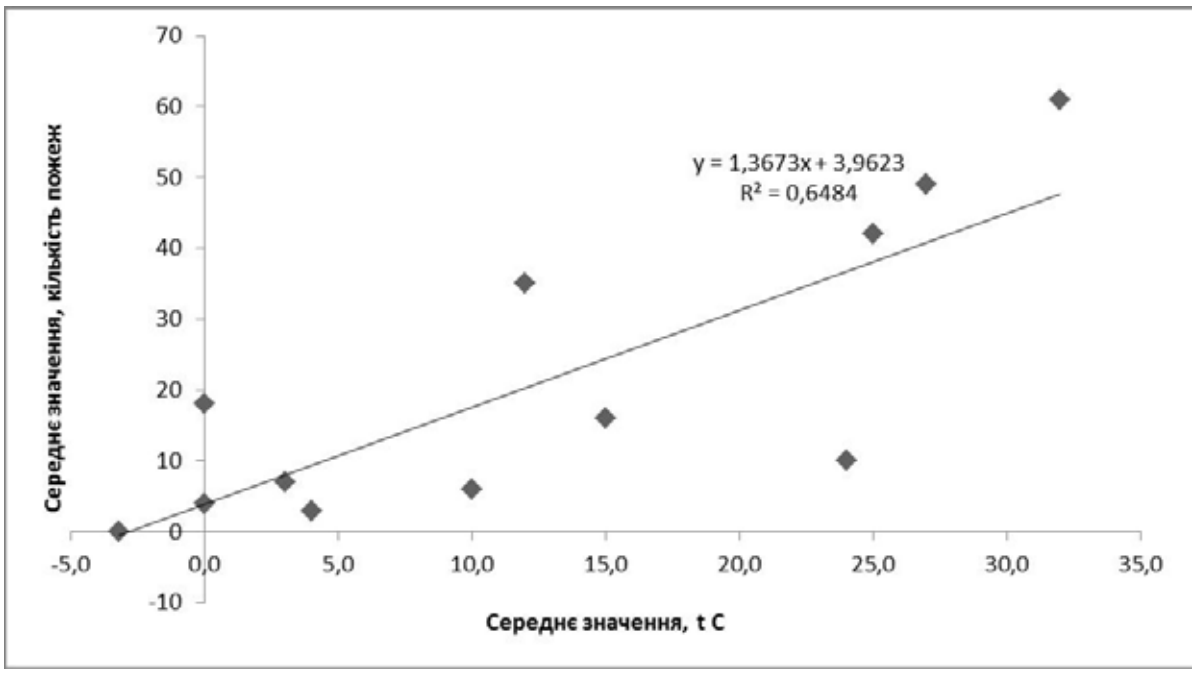


Рис. 11. Зв'язок пожеж та середніх значень спостережень температури за період січень-грудень 2022 р.

сильніше, істотніше зв'язок між двома величинами. Значенням r, близьких до -1 або r = 1 відповідають функціональні зв'язки. При r = 0 зв'язок між величинами повністю відсутній.

В цілому, коефіцієнт кореляції Пірсона добре відображає лінійний зв'язок між аналізованими параметрами, тобто такий, що графічно зображається. Отримані розрахункові дані підтверджують факт впливу зміни температури з урахуванням впливу військової дій на кількість пожеж у бік збільшення.

Розроблення рекомендацій щодо відновлення стану довкілля на засадах сталого розвитку територій постраждалих в наслідок пожеж на прикладі с. Новомикільське Луганської області, головним чином спрямовані на відновлення та створення майже природних багатовікових лісових екосистем з вищою стійкістю до грибкових захворювань та спалахів рослиноїдних комах.

Основною метою інноваційних природоохоронних заходів з відтворення екосистем є створення різновікових полідомінантних лісових екосистем, близьких до природних, що відрізняються більш високою стійкістю до грибних хвороб і спалахів чисельності комах-фітофагів. Формування нових поколінь дерев можливо як за рахунок природного поновлення, так і шляхом створення лісових культур.

Головні висновки. Отримані розрахункові дані підтверджують факт впливу зміни температури, військової діяльності на кількісні показники повторюваності пожежі у бік збільшення. Навіть після завершення активних бойових дій на таких територіях існує підвищений ризик загорань та розповсюдження вогню через значну кількість залишених

боєприпасів і можливу їх детонацію. А заміновані території унеможливлюють здійснення заходів із пожежогасіння [8]. В цілому, за останні роки спостерігається підняття середньої температури і кількості пожеж та територій які постраждали від їх руйнівної сили.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані дослідницькі данні мають подальший розвиток та застосування у дослідженнях кліматичних змін на засадах сталого розвитку. Продовження робіт в даному напрямку вимагає для підвищення достовірності експертного оцінювання по задачі, розробити процедуру переходу від безпосереднього застосування кількісних даних, до проведення визначення домінуючих зв'язків між елементами ієрархії [9, 14-16], врахування залежності між всіма елементами задачі та визначення інноваційних рішень та підходів, нормативну базу, соціальні зв'язки, які найліпшим чином забезпечать урахування довкіллєвого аспекту у післявоєнній відбудові України на принципах збалансованого використання природних ресурсів і ефективного управління у напрямі збереження довкілля на засадах сталого розвитку.

Література

1. План відновлення України: веб-сайт. URL: https://recovery.gov.ua/ (Last accessed: 19.07.2023).
2. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року : Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (дата звернення 19.07.2023 р.).
3. Проєкт Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Екологічна безпека». Національна Рада з відновлення України від наслідків війни. 2022. 108 с. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/environmental-safety-assembly.pdf (дата звернення 19.07.2023 р.).
4. Решетченко А. І. Дослідження вразливості до кліматичних змін річкового стоку урбосистем на засадах сталого розвитку. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 3. С. 90–96. URL: https://doi.org/10.31210/visnyk2022.03.11 (дата звернення: 19.07.2023).
5. Repeated summer heatwaves trigger new ozone level peaks throughout Europe | Copernicus. *Home | Copernicus*. URL: https://atmosphere.copernicus.eu/repeated-summer-heatwaves-trigger-new-ozone-level-peaks-throughout-europe (date of access: 19.07.2023).
6. Приседська В., Шрамович В. Спустошені землі. Якою буде природа України після війни. *https://www.bbc.com/*. URL: https://www.bbc.com/ukrainian/extra/mwu5sxghvc/ukraine_war_damaged_nature (дата звернення: 19.07.2023).
7. Huseynov R.'Armed conflicts and the environment – Report1', Committee on the Environment, Agriculture and Local and Regional Affairs, Azerbaijan, Alliance of Liberals andDemocrats for Europe. (Parliamentary Assembly – Council of Europe.
8. Планування відновлення довкілля. Київ : Екологія. Право. Людина., 2022. 55 с. URL: http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2022/06/FIN_Planuvannya-vidnovlennya-dovkillya.pdf (дата звернення: 19.07.2023).
9. Teliura N. Development of the methodological approach to the selection of technologies for environmentallysafe water drainage in populated areas. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, no. 10 (96). P. 55–63. URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.148689 (date of access: 19.07.2023).
10. Reshetchenko A., Teliura N., Lomakina O. Directions of technological and development regulatory and legal instruments of the organization environmental activity in Ukraine. *Municipal economy of cities*. 2022. Vol. 3, no. 170. P. 62–70. URL: https://doi.org/10.33042/2522-1809-2022-3-170-62-70 (date of access: 19.07.2023).
11. Climate Change Novonikol'skoye – meteoblue. *meteoblue*. URL: https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/novonikol'skoye_ukraine_699398?month=7 (date of access: 19.07.2023).
12. NASA-FIRMS. *NASA | LANCE | FIRMS*. URL: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#t:adv;m:advanced,custom;d:2022-03-01;l:landsat,noaa20-viirs,viirs,modis_a,modis_t,grids,country-outline,protected_areas;@38.8,49.4,8z (date of access: 19.07.2023).
13. Dynamic Fire Risk Classification Prediction of Stadiums: Multi-Dimensional Machine Learning Analysis Based on Intelligent Perception / Y. Lu et al. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12, no. 13. P. 6607. URL: https://doi.org/10.3390/app12136607 (date of access: 19.07.2023).
14. Selection Methodology of Ecological Safety Priorities of Sustainable Development Goals of Urban Agglomerations / N. Teliura et al. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021*. Cham, 2022. P. 941–950. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94259-5_73 (date of access: 19.07.2023).
15. Hydrogen Sensor on the Base of Nanocrystalline SiC Films / O. Semenov et al. *Smart Technologies in Urban Engineering*. Cham, 2022. P. 412–419. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_38 (date of access: 19.07.2023).
16. A Technique to Identify Technical Measures Designed to Ensure Environmentally Safe Management in Populated Areas in Ukraine / N. Teliura et al. *Smart Technologies in Urban Engineering*. Cham, 2022. P. 337–348. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_31 (date of access: 19.07.2023).

УДК 504.4
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.7

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ДОЩОВИХ СТІЧНИХ ВОД НА ДИТЯЧИХ ІГРОВИХ МАЙДАНЧИКАХ М. ХАРКІВ

Шестопалов О.В., Тихомирова Т.С., Стаднік В.Ю.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків
niki.stadnik2610@gmail.com

У роботі представлено результати дослідження впливу дощових стічних вод на забруднення території та ріст й розвиток рослинності на дитячих ігрових майданчиках на прикладі м. Харків. Встановлено, що через відсутність комунікацій для відведення зливових вод, відсутність бордюрів і нерівність поверхонь тротуарів та автомобільних доріг дощові стоки потрапляють і накопичуються на територіях дитячих ігрових майданчиків. За результатами обстеження дана проблема характерна для понад 26% усіх наявних у місті майданчиків. Ускладнює ситуацію те, що найбільш розповсюдженим типом покриття є ґрунтове покриття, яке в процесі експлуатації ущільняється, що впливає на водопроникність ґрунту, і як наслідок, вода застоюється на майданчику, навколо обладнання утворюються калюжі, забруднена вода потрапляє у пісочниці. В роботі використовувались наступні методи досліджень: колориметричний, гравіметричний, флуориметричний, титрометричний, потенціометричний, біоіндикації та натурний. Відбір проб проводився після інтенсивного короткочасного дощу на дитячих майданчиках, які розташовано в межах багатоповерхової забудови, у приватному секторі, на території парку, на території установи та на майданчику при облаштуванні якого дотримані всі вимоги згідно нормативних документів. Показники зразку дощового стоку з майданчика, що відповідає вимогам близькі за значеннями до зразку стоку з майданчика розташованого у міському парку. За концентрацією азоту амонійного та нітратного і фосфору переважає майданчик, який розташовано у приватному секторі, що може бути пов'язаним з використанням добрив. Найвищі показники концентрації нафтопродуктів характерні для майданчиків, які розташовано вздовж автодоріг з інтенсивним рухом транспорту – майданчик на території організації та багатоквартирної забудови. За показниками pH дощовий стік з майданчиків багатоквартирної забудови та установи характеризується як слаболужний. Методами біоіндикації та натурних спостережень доведено, що забруднені зливові води мають негативний влив на розвиток рослин, що, як наслідок, впливає на захисні функції зелених насаджень. *Ключові слова:* поверхневий стік, дощові стічні води, урбанізована територія, дитячий майданчик, хімічний аналіз, екологічна безпека, озеленення, біоіндикація.

Ecological assessment of stormwater chemical composition runoff from playgrounds in Kharkiv. Shestopalov O., Tykhomyrova T., Stadnik V.
The rainwater impact on territory pollution, growth and development of vegetation on children's playgrounds in Kharkiv are given in this paper. It has been established that due to the lack of stormwater drainage communications, the curbs absence and sidewalks and roads uneven surfaces, rainwater runoff enters and accumulates on children's playgrounds. According to the survey, this problem is typical for more than 26% of all playgrounds in the city. The situation is complicated by the fact that the most common surface type is soil, which is compacted during operation, affecting the permeability of the soil, and as a result, water stagnates on the playground, puddles form around the equipment, and contaminated water gets into the sandboxes. The following research methods were used in the study: colorimetric, gravimetric, fluorimetric, titrometric, potentiometric, bioindication, and field research. Sampling was carried out after intense short-term rain on playgrounds located within multi-storey buildings, in the private sector, in a park, on the territory of an institution, and on a playground that met all the requirements of regulatory documents. Contaminations in rainwater runoff from the playground that meets the requirements are similar to the contaminations in rainwater runoff from the playground located in a city park. The concentration of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, and phosphorus is dominated by the playground located in the private sector, which may be due to the use of fertilizers. The highest concentrations of petroleum products are typical for playground located along roads with heavy traffic – the playground on the territory of an institution and apartment buildings. pH level in the stormwater runoff from the sites of apartment buildings and the institution is characterized as slightly alkaline. The methods of bioindication and field observations have proven that polluted stormwater has a negative impact on plant development, which, as a result, affects the protective functions of green spaces. *Key words:* surface runoff, stormwater runoff, urbanized area, playground, chemical analysis, environmental safety, greening, bioindication.

Постановка проблеми. Процес розвитку сучасних міст збільшує рівень антропогенного навантаження на урбоекосистеми, в тому числі має вплив на стан поверхневих та підземних вод. Хімічний склад талої води та дощового стоку в умовах міського середовища в певній мірі характеризує екологічний стан міста в цілому, а також окремих його об'єктів. Значна кількість дитячих майданчиків (ДМ) великих міст України розташована поблизу автодоріг з інтенсивним рухом транспорту, поблизу автостоянок, підприємств та інших об'єктів, які є джерелом забруднення навколишнього середовища [1]. З обстежених 3095 дитячих ігрових майданчиків м. Харків понад чверть (26,07 %) розташовано та облаштовано так, що зливовий стік потрапляє на їх території. Серед основних причин можна виділити: відсутність комунікацій для відведення води, відсутність бордюрів на дорогах та тротуарах, наявність куту нахилу

або перепадів між дорогою (або тротуаром) та ДМ. Мінеральні та органічні суміші природного та техногенного походжень разом із дощовим стоком, або в результаті танення снігу накопичуються на території ДМ, в тому числі у пісочниці.

Метою роботи є екологічна оцінка хімічного складу зливових вод на дитячих ігрових майданчиках м. Харків та дослідження реакції рослин на дощову воду з різним хімічним складом.

Актуальність дослідження. Дослідження екологічного стану дитячих майданчиків, як об'єктів урбоекосистем, включає комплекс показників: забруднення атмосферного повітря [2, 3], забруднення ґрунтового покриву [4], рівень шумового забруднення [5], стан зелених насаджень [6, 7], не виключенням є й показник забруднення дощового стоку та талої води. Дослідження хімічного складу дощового стоку на дитячих ігрових майданчиках дозволяють оцінити поточний стан екологічної безпеки дитячих майданчиків та виявити потенційну небезпеку та ризики для здоров'я дітей, проаналізувати вплив зливових вод на рослинність, яка виконує захисну функцію на майданчиках.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота пов'язана з вирішенням завдань, що наведені у Водній стратегії України на період до 2050 року, а саме у пункті 24, де одним із критеріїв є впровадження до 2027 року моніторингу зливових (дощових) вод у містах з населенням понад 200 тисяч осіб [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До джерел дощового стоку відносяться всі атмосферні опади (дощ, сніг, град та ін.). За хімічним складом опади відповідають нормативам поверхневих вод, але в умовах міського середовища, хімічний склад дощового стоку змінюється [9–11]. Основними забруднюючими речовинами дощового стоку є продукти ерозії ґрунту, які змиваються з газонів та від критих ґрунтових поверхонь; пил; сміття; компоненти дорожніх покриттів; компоненти будівельних матеріалів, що зберігаються на відкритих складських майданчиках; нафтопродукти; синтетичні поверхнево-активні речовини; бактерійні забруднення, що поступають у поверхневий стік при поганому санітарно-технічному стані території і каналізаційних мереж та ін. [12].

Аналіз хімічного складу дощового стоку проводився для окремих міст України з метою визначення рівня навантаження на водні джерела [13–15], проте дослідження впливу зливових стоків на екологічну ситуацію окремих об'єктів раніше не проводилося.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Стаття присвячується вирішенню питань забруднення дитячих ігрових майданчиків хімічними речовинами, що потрапляють на їх територію із дощовим стоком під час опадів.

Новизна. Вперше проведено оцінку хімічного складу дощового стоку на дитячих ігрових майданчиках урбанізованих територій з метою дослідження поточного екологічного стану об'єктів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження дощового стоку на дитячих майданчиках урбанізованої території дозволяє оцінити вплив стоку води на навколишнє середовище, у тому числі на ґрунти та водні системи. Визначення рівня забруднення та кількості хімічних речовин у дощовій воді дозволить розробити заходи для запобігання забруднення та захисту навколишнього середовища.

Виклад основного матеріалу. Відбір проб дощового стоку проводився в квітні 2021 року після випадіння короткочасних, але дуже інтенсивних опадів на дитячих ігрових майданчиках м. Харків які розташовано:

1) в спальному районі міста (багатоквартирна забудова) поблизу автодороги з інтенсивним рухом транспортних засобів;

2) у межах приватного сектору;

3) на території міського парку;

4) на території установи з вільним доступом для мешканців;

5) в межах групи багатоквартирних будинків із дотриманням всіх вимог згідно [16, 17] (табл. 1).

Території обраних ДМ мають подібні характеристики складу і властивостей ґрунтів, природних вод і рослинного покриву. Проте якщо порівнювати особливості накопичення та відведення дощового стоку у районах багатоквартирної забудови та у приватному секторі можна виділити наступні відмінності:

1) у приватному секторі переважна більшість ділянок землі з природним ґрунтом, який має більш високу проникність, ніж штучні покриття в межах багатоповерхової забудови, що дозволяє дощовій воді проникати крізь ґрунт.

2) у приватному секторі менш розвинена система стічної інфраструктури порівняно з районами багатоквартирної забудови. Відсутність зливових стоків, каналізаційних систем та дренажних колекторів може призводити до того, що дощова вода збирається на ділянках або стікає у непідготовлені місця, в тому числі і на території ДМ, які у приватному секторі розташовано хаотично із порушенням вимог.

Ще однією причиною накопичення дощового стоку на території ДМ, яка властива для як приватної, так і багатоквартирної забудови – ґрунтове покриття з дикорослими травами, яке є найбільш розповсюдженим. В процесі гри та експлуатації обладнання ущільняється ґрунт та утворюються нерівності у яких накопичується вода як з самого майданчика, так і з тротуарів, доріг та автостоянок (за відсутності бордюрів) [18].

Хімічний аналіз пріоритетних забруднюючих речовин у пробах дощового стоку проводився із застосуванням наступних методів: колориметричного, гравіметричного, флуориметричного, титрометричного та потенціометричного.

Таблиця 1

Характеристика місць відбору проб дощового стоку

№	Місце відбору	Характеристика місця розташування	Адреса
1	Багатоквартирна забудова	На відстані < 20 м від дороги з інтенсивним рухом автотранспорту, < 10 м від внутрішньоквартального проїзду, < 30 м від колій трамваю	просп. Перемоги, 64
2	Приватний сектор	На перехресті змішаного типу. Відстань до автодоріг < 5 м	1-й Омський пров, 44б
3	Міський парк	На території парку відстань до автодоріг понад 50 м	Центральний парк культури і відпочинку
4	Територія установи	На відстані ~10 м від автодороги з інтенсивним рухом транспорту та < 10 м до стихійної парковки	просп. Ювілейний, 45б
5	Багатоквартирна забудова (з дотриманням вимог)	На відстані > 20 м до внутрішньоквартальних проїздів, стоянки автомобілів та місць накопичення ТПВ	вул. Архітекторів, 32

Таблиця 2

Середня концентрація забруднюючих речовин в дощовому стоці на досліджуваних майданчиках, мг/л

Показники	Місця відбору проб				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Азот амонійний	1,7	1,8	0,35	1,55	0,37
Азот нітратний	0,51	0,64	0,1	0,47	0,14
Азот нітритний	0,32	0,24	0,16	0,31	0,13
Фосфор	0,31	0,6	0,11	0,4	0,18
Зважені речовини	587	913	213	629	287
Нафтопродукти	3,7	1,6	0,5	4,1	0,6
$БСК_5$ мг $O_2/дм^3$	71	26	24	64	26

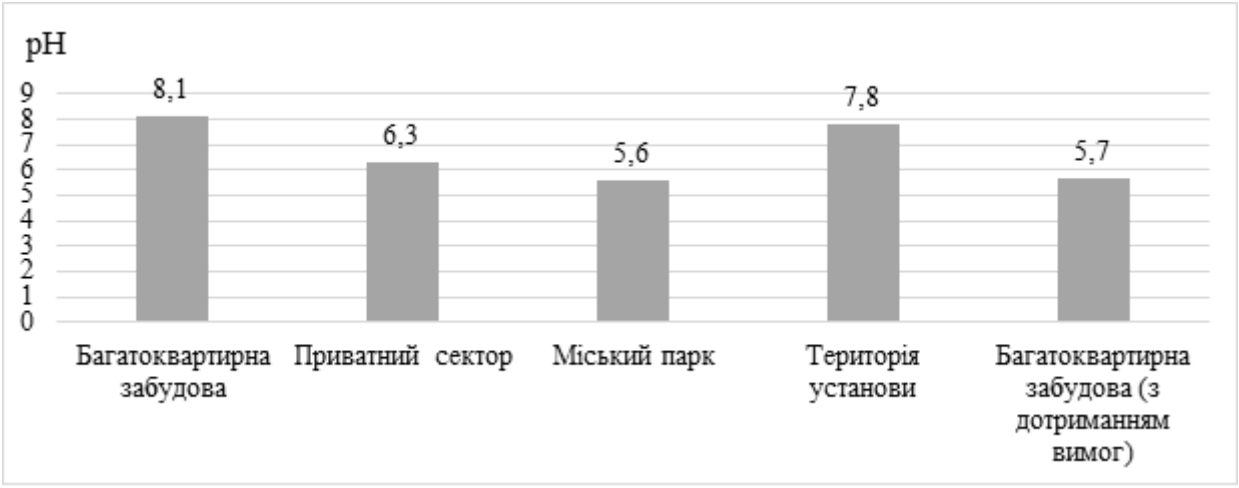


Рис. 1. Показник pH на досліджуваних дитячих майданчиках

Колориметричний метод використовувався для визначення концентрації амонійного азоту у зразках дощового стоку з дитячих ігрових майданчиків. Гравіметричим методом визначалася концентрація зважених речовин, флуориметричним – концентрація нафтопродуктів у досліджуваних зразках. Титрометричний метод використовувався для визначення $БСК_5$ (біохімічне споживання кисню), цей показник характеризує вміст розчинної органічної речовини в стоці. Результати досліджень представлено у табл. 2.

Показник pH визначався потенціометричним методом, результати представлено на рис. 1.

Лабораторні дослідження проводились на кафедрі хімічної техніки та промислової еко-

логії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (ХТПЕ НТУ «ХПІ»).

Показники зразку дощового стоку з ДМ, що відповідає вимогам близькі за значеннями до зразку стоку з ДМ розташованого у міському парку.

У досліджуваних зразках стоку з трьох досліджуваних форм азоту переважав амонійний азот, що свідчить про слабко протікаючі процеси окиснення.

Вміст фосфору у дощових водах ДМ приватного сектору помітно вищий, в порівнянні з об'єктами щільної забудови, що може свідчити про використання фосфатних добрив, які з часом вимиваються з ґрунту. На території багатоповерхової забудови на вміст фосфору в дощовому стоці впливає щільність населення та інтенсивність руху транспортних засобів.

Основним джерелом надходження нафтопродуктів у дощовий стік є автомобільні дороги з та стоянки автомобілів, що підтверджується результатами проведених досліджень.

Велика кількість зважених речовин на майданчиках пояснюється змивом піску з негерметичних пісочниць, на яких відсутні кришки, а також пиловими частинками з автодоріг та з покриття самого майданчика.

Показник pH дощового стоку ДМ міського парку, приватного сектору та майданчика, що відповідає вимогам характеризується як нейтральний, а для територій багатоквартирної забудови та установи – слаболужний.

Оцінка впливу дощового стоку рослини проводилась методом біоіндикації з використанням досліджуваних зразків зливових вод. Для проведення досліджень використовувалося насіння тест-рослини, чашки Петрі та ґрунт універсальний. Використання квіткових трав'янистих рослин є перспективним для озеленення ДМ [19], тому в якості тест-рослини використовувалося насіння квіткової трав'янистої рослини *Rudbeckia laciniata `Goldquelle`* ТМ «Садиба центр».

Перед дослідженням насіння тестувалося на схожість: чашки Петрі на половину наповнювались універсальним ґрунтом, який зволожували відстояною водопровідною водою, після чого укладали 30 насінин тест-рослини та покривали ґрунтом, спостереження та догляд проводили протягом 21 дня. Зволоження ґрунту проводили через кожні 3 дні, з 30 насінин зійшло 29 шт. (97%), що дозволило проводити подальший експеримент. Проведення експерименту з дощовою водою проводили аналогічно до тестування на схожість, результати представлено у табл. 3.

Найнижчий показник схожості у насіння тест-рослини для поливу якої використовували воду дощового стоку з ДМ, який розташовано в зоні багатоквартирної забудови, вздовж дороги з інтенсивним рухом транспорту.

Натурним методом на дитячих майданчиках які розташовано в зонах багатоквартирної забудови та у приватному секторі було досліджено вплив дощового стоку з різним хімічним складом на розвиток трав'янистих рослин *Rudbeckia laciniata `Goldquelle`*, які використовуються для озеленення ДМ.

В березні 2021 року насіння висаджували в ящики для розсади, полив проводили кожні 3 дні відстояною водопровідною водою, температуру у приміщенні підтримували на рівні +19…+21 °С (рекомендована в діапазоні +18…+25 °С). Висадку у відкритий ґрунт проводили в квітні, на ДМ висаджували по 10 рослин однаковими довжинами стебла на відстані 25 см одна від одної. Оцінка проводилась в липні місяці за такими показниками як: середня довжина стебла та середня площа листя, адже саме ці показники мають значний вплив на захисні функції зелених насаджень [20]. Середня довжина стебла визначалася як середнє арифметичне показників 10-ти рослин на кожному майданчику. Для визначення середньої площі листя з кожної рослини відбиралось по 5 неушкоджених листків з кожної рослини, площа кожного листка вимірювалась за допомогою мобільного додатку Petiole PRO, після отримання 50-ти показників для кожного майданчика, розраховувалось середнє арифметичне (табл. 4).

Найкращі показники характерні для ДМ, який розташовано згідно вимог, найгірші – для ДМ,

Таблиця 3

Результати дослідження методом біоіндикації

	Місце відбору проб				
	№ 1	**№ 2**	**№ 3**	**№ 4**	**№ 5**
Кількість схожих насінин, шт. (%)	19 (63)	22 (73)	28 (93)	20 (67)	28 (93)

Таблиця 4

Результати вимірювання параметрів рослин Rudbeckia laciniata `Goldquelle`

Показник	**Місце проведення дослідження**		
	№ 1	**№ 2**	**№ 5**
Середня довжина стебла, см	58,4	66,21	76,88
Середня площа листя, см²	3,87	4,05	4,21

який розташовано поблизу автодороги з інтенсивним рухом транспорту (аналогічно до попередніх досліджень).

Головні висновки. Через неякісну систему відведення дощового стоку забруднена вода стікає з автодоріг та тротуарів, накопичується та затримується на ДМ урбанізованих територій, що має негативний вплив на стан екологічної безпеки. Вода з забруднюючими хімічними речовинами, потрапляє у пісочниці, переважна більшість яких не герметична.

Результати хімічного аналізу свідчать про високий рівень забруднення дощового стоку на дитячих ігрових майданчиках м. Харків, які розташовано поблизу автодоріг та стоянок для автомобілів, в порівнянні із досліджуваним майданчиком, який розташовано у міському парку.

Показник pH дощового стоку міського парку дорівнює 5,6, а ДМ розташованого згідно вимог – 5,7, показники pH зливових стічних вод відібраних з ДМ які розташовано в межах багатоквартирної забудови та на території установ дорівнюють 8,1 та 7,8 відповідно, що дозволяє віднести зразки до слаболужних.

Доведено, що хімічний склад зливових вод впливає на проростання, ріст та розвиток рослин які використовуються для озеленення ДМ, що, як наслідок, має вплив на захисні функції зелених насаджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Перспективним напрямком використання отриманих результатів є дослідження впливу окремих забруднюючих речовин та їх комплексу на здоров'я дітей та розвиток рослин, які використовуються для озеленення майданчиків. Перспективною також є розробка відповідних запобіжних заходів щодо потрапляння та накопичення забруднюючих речовин з дощовим стоком на територію ДМ.

Література

1. Стаднік В.Ю. Оцінка екологічної безпеки дитячих майданчиків як елементів урбанізованих територій. *Суспільство, довкілля і зміна клімату*: матеріали 3-ої молодіжної наукової конференції, Київ, 22–23 березня 2019 р. Київ: Логос, 2019. С. 129–131.
2. Stadnik V. Analysis of Environmental Hazards in the System 'Children's Playground – Urbanized Area'. *Technology transfer: fundamental principles and innovative technical solutions.* 2021. P. 28–30.
3. Стаднік В. Ю., Тихомирова Т. С. Оцінка стану атмосферного повітря на дитячих майданчиках міста Харків методом ліхеноіндикації. *Topical issues of the development of modern science*: abstracts of the 6th International scientific and practical conference. Publishing House "ACCENT". Sofia, Bulgaria. 2020. P. 841–846.
4. Стаднік В.Ю. Аналіз хімічного складу продуктів зносу автомобільних шин та дорожнього покриття на поверхні грунтового покриву дитячих ігрових майданчиків м. Харків. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: збірник матеріалів 6-го молодіжного конгресу. Львів: Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 106.
5. Стаднік В. Ю., Тихомирова Т. С. Шумове навантаження на дитячих майданчиках міста Харків. *Молодий вчений*. 2017. №. 10. С. 24–27.
6. Стаднік В. Оцінка якісної і кількісної характеристики зелених насаджень на території дитячих майданчиків м. Харків. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Вип. 6 (131). С. 48–53.
7. Shestopalov, O., Tykhomyrova, T., Lebedev, V., Stadnik, V. Green areas state assessment within the urban territories. *EUREKA: Life Sciences*. 2022. № 4. P. 10–20.
8. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.12.2022 № 1134-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text (дата звернення: 14.03.2023)
9. Хільчевський В. К., Курило С. М. Хімічний склад атмосферних опадів на території України та його антропогенна складова. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. №. 4. С. 63–74.
10. Хільчевський В. К., Курило С. М., Забокрицька М. Р. Антропогенна складова хімічного складу атмосферних опадів та їх вплив на геосистеми. *Географічна наука і освіта: від констатації до конструктивізму*: матеріали Міжнарод. наук. конференції. Київ, 2018. С. 86–88.
11. Heretsun H. M., Masikevich Y. H., Holyonko R. A. Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2019. Т. 29. №. 1. С. 66–69.
12. Піціль А. О., Буднік І. П. Поверхневий стік як складова в міграції полютантів з ландшафтних комплексів. *Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища*. К. : ДУ «ІЕЕ НАН України». – 2017. – С. 125.
13. Піціль А. О. Дифузне забруднення водних екосистем міста поверхневим дощовим стоком. *Наукові читання – 2013* : наук.-теорет. зб. Житомир : ЖНАЕУ, 2013. Т. 1. С. 131–134.
14. Скок С. В. Вплив зливових та каналізаційних стічних вод на якість річки Дніпро в зоні дії Херсонської урбосистеми. *Вісник Уманського національного університету садівництва.* 2020. № 2. С. 122–129.
15. Ричак Н. Л., Гричаний О. М. Оцінка навантаження поверхневого стоку на водний об'єкт в умовах урболандшафтної геосистеми. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.* 2019. №. 31. С. 104–116.
16. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 року № 173. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96 (дата звернення: 16.02.2023).
17. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова території. ДП Український державний науково-дослідний інститут проектування міст «Діпромісто» ім. Ю.М. Білоконя. Київ: Мінрегіон, 2019. 177 с.

18. Стаднік В. Ю., Тихомирова Т. С. Вплив різних типів покриття на екологічну безпеку дитячих майданчиків. *«Наукова весна» 2023* : матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1-3 березня 2023 року. Дніпро : НТУ «ДП», 2023. С. 100–102.
19. Стаднік В. Ефективність використання квіткових трав'янистих рослин для озеленення дитячих майданчиків урбанізованих територій. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2021. №. 3. С. 57–62.
20. Стаднік В. Ю., Тихомирова Т. С., Грекова А. В. Механізми захисту навколишнього середовища зеленими насадженнями від зважених частинок (PM). *Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції магістрантів та аспірантів. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. С. 364–365.

ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

УДК 504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.8

ВИКОРИСТАННЯ ПІГМЕНТІВ ФІТОПЛАНКТОНУ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЮ ЕВТРОФУВАННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Дмитрієва О.О., Цапко Н.С., Мельнік Л.В., Ємельянов С.П.
Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
вул. Бакуліна, 6, 61166, м. Харків
dmitrieva.olena@gmail.com, tsapko@niiep.kharkov.ua, melnik2017@meta.ua, yemelyanov.ce@gmail.com

Розглянуто та систематизовано наукові підходи та принципи дослідження процесів евтрофування складових навколишнього природного середовища. Одним із актуальних питань у створенні екологічної безпеки для здоров'я та життєдіяльності людини є запобігання та зменшення ступеня антропогенного евтрофування водних об'єктів, досягненню якого сприятиме оперативне оцінювання ступеню евтрофування. Найбільш доцільні такі обстеження виконувати методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) спільно з методами наземного контролю. Спільне використання цих методів сприятиме підвищенню точності і оперативності спостережень, а, отже, і підвищенню ефективності оперативних управлінських рішень в галузі природокористування, які приймаються на їх основі. Вміст хлорофілу в фітопланктоні можна вважати провідним, поряд з альгологічними показниками, оскільки він прямо характеризує інтенсивність розвитку й накопичення мікроводоростей, тоді як гідрохімічні показники евтрофованості вод, такі як вміст біогенних елементів чи лабільної органічної речовини, або насиченості киснем є непрямими. Пропонується використання пігментів фітопланктону з метою визначення інтенсивності процесів евтрофування водних об'єктів. Ці пігменти надають ціанобактеріям характерний синьозелений колір, що використовується для виробництва харчового синього барвника. Це певною мірою детермінує існування досить високого ступеня дослідження методів екстракції, очищення та визначення фікоціаніну з водоростевої маси. наявність даних щодо вмісту цього маркера розвитку ціанобактерій дає реальну можливість прогнозування рівня розвитку «квітучої» біомаси ціанобактерій, у тому числі токсигенних видів, як чинника небезпечного впливу на здоров'я людини. Найбільш перспективним на сучасному етапі запропоновано визначення пігменту – фікоціаніну-маркер ціанобактерій. *Ключові слова:* евтрофування, ціанобактерії, фікоціанін

Use of phytoplankton pigments to assess the degree of eutrophication of water bodies. Dmitrieva O., Tsapko N., Melnik L., Emelyanov S.

The scientific approaches and principles of studying the processes of eutrophication of environmental components are considered and systematized. One of the most pressing issues in creating environmental safety for human health and life is the prevention and reduction of anthropogenic eutrophication of water bodies, which will be facilitated by prompt assessment of the degree of eutrophication. Such surveys are most expediently performed using remote sensing methods in conjunction with ground control methods. The joint use of these methods will help to improve the accuracy and efficiency of observations, and, consequently, increase the effectiveness of operational management decisions in the field of environmental management made on their basis. The chlorophyll content in phytoplankton can be considered the leading indicator, along with algological indicators, since it directly characterizes the intensity of microalgae development and accumulation, while hydrochemical indicators of water eutrophication, such as the content of nutrients or labile organic matter, or oxygen saturation, are indirect. It is proposed to use phytoplankton pigments to determine the intensity of eutrophication processes in water bodies. These pigments give cyanobacteria their characteristic blue-green color, which is used to produce food blue dye. To some extent, this determines the existence of a fairly high degree of research on methods of extraction, purification and determination of phycocyanin from algal mass. the availability of data on the content of this marker of cyanobacterial development provides a real opportunity to predict the level of development of "blooming" cyanobacterial biomass, including toxicogenic species, as a factor of dangerous impact on human health. The most promising at the present stage is the determination of the pigment phycocyanin as a marker of cyanobacteria. *Key words:* eutrophication, cyanobacteria, phycocyanin.

Постановка проблеми. Першочерговими завданнями державної екологічної політики України в забезпеченні сталого розвитку є створення безпеки життя і здоров'я людини, безпечного стану довкілля, доступу до якісної питної води і безпечних харчових продуктів, сприятливих умов для ведення господарської діяльності [1-2].

Здоров'я людини визнано основним критерієм ефективності функціонування усіх без винятку сфер господарської діяльності, а забезпечення населення якісною і безпечною питною водою в належній кількості визнане основним завданням органів виконавчої влади.

Однією з поширених негативних властивостей водних об'єктів є їх антропогенне евтрофування, яке має значні негативні наслідки у соціальній, технологічній та економічній сферах життєдіяльності населення.

Процеси евтрофування складових навколишнього природного середовища внаслідок військових дій значно посилюються.

Актуальність дослідження. Значним антропогенним евтрофуванням було охоплено основні водні об'єкти різних регіонів України ще з середини XX сторіччя. «Цвітуть» водосховища Дніпра, середні та нижні ділянки басейну річки Дністер, Шацькі озера Українського Полісся, Придунайські озера Одеської області, високотрофне озеро Сасик у Причорномор'ї, «цвітінням» ціанобактерій була охоплена Північно-західна частина Чорного моря (особливо Одеська затока) та Азовське море.

Евтрофні водосховища Дніпра є джерелом питного водопостачання для 2/3 населення України. Еколого-соціальну (медичну) небезпеку являють собою токсини ціанобактерій, вміст яких виявлено у багатьох водних об'єктах дніпровського регіону. При дослідженні Київського, Канівського водосховищ, ставків та озер Києва та Київської області, р. Дніпра та його заток у 2009–2010 рр. закордонними екологами у цих водних об'єктах виявлена наявність токсинів ціанобактерій за методом ПЛР (а саме наявність генів, які кодують синтез мікроцистинів). Результати цих досліджень у 2009 р. були позитивними для 68%, а у 2010 р. – для 90% обстежених водних об'єктів України [3].

Напруженою екологічною ситуацією внаслідок евтрофування також характеризується низка озер Українського Придунав'я: оз. Кагул (при «цвітінні» домінує ціанобактерія Aphanocapsa pulverea), оз. Ялпуг (при «цвітінні» домінує ціанобактерія Synechocystis salina), оз. Катлабух (при «цвітінні» домінують ціанобактерії Spirulina laxissima, Merismopedia minima). Про інтенсивне евтрофування цих озер свідчать визначені рівні чисельності ціанобактерій у водному середовищі [4].

Через слабкий водообмін, стале надходження забруднених дунайських водних мас, активне накопичення азоту та фосфору створено сприятливі умови для щорічних «цвітінь» ціанобактерій в оз. Сасик, яке належить до високотрофних озер. За даними Татарбунарської райСЕС рівень захворюваності дихальних шляхів у мешканців зони оз. Сасик є критично високим порівняно до інших регіонів [5]; дію аерозолізованих токсинів слід обов'язково враховувати для оцінки небезпеки CyanoHABs, особливо для популяцій мешканців узбережжя та рекреаційних користувачів, коли інгаляційне надходження токсинів у вигляді аерозолів часто може виступати у якості вторинного (супутнього) впливу при первинній пероральній дії.

Яскравим прикладом наслідків потужного антропогенного тиску на водні об'єкти та розвитку евтрофування є низка екологічних криз водних екосистем, зокрема, майже повна деградація в кінці XX ст. Філофорного поля Зернова (ФПЗ) – унікального біоценозу червоної макроскопічної агароносної водорості Phillophora, яка вегетувала на площі більше 10 тис. км^2. Через екологічну катастрофу внаслідок антропогенного евтрофування було знищено 97% запасів філофори внаслідок чого відбулося значне скорочення видового різноманіття унікальної бентосної фауни, пов`язаної з мешканням філофори. Через відсутність сировини було ліквідовано завод з виробництва природного агар-агару (еколого-соціальна складова сталого розвитку).

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Для еколого-соціального (еколого-медичного) оцінювання водних об'єктів, схильних до «цвітіння», необхідне проведення спеціального контролю рівня їх евтрофування. Хронічне надходження ціанотоксинів до організму людини навіть у малих кількостях при питному водоспоживанні потребує подальших ретельних спостережень, адже їм притаманна канцерогенна властивість, а мікроцистин–LR (найпоширенішій гепатотоксин ціанобактерій) Міжнародним агентством з вивчення раку (МАВР) було включено до «Переліку канцерогенних факторів» та віднесено до групи 2В. Кілька років тому повідомлялося про підвищену частоту випадків первинного раку печінки (PLC) у Китаї, пов'язаних зі споживанням неочищеної питної води, що містила мікроцистини. Крім Китаю, є дані про підвищений рівень первинного раку печінки (PLC) серед населення Сербії, що також пов'язується з хронічним токсичним впливом мікроцистинів. Відомим підтвердженим випадком масових смертей людей (понад 60 осіб), безпосередньо пов'язаним з шкідливою дією токсинів ціанобактерій (мікроцистинів), був інцидент у Бразилії (з пацієнтами гемодіалізного центру у м. Каруару у 1996 році, який використовував воду з місцевого «квітучого» евтрофованого водного об'єкту з передбаченим очищенням води за допомогою фільтра з активованого вугілля, який не був вчасно замінений і сам став джерелом вторинного забруднення води небезпечними мікроцистинами). В програмі CYANONET містяться дані щодо 100 випадків смертей людини на озері Ембу, що пов'язується з дією ціанотоксинів [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасні методи спостереження за екологічним станом поверхневих вод як складової частини навколишнього середовища умовно можна поділити на дві групи [7]: контактні і дистанційні. Перші ґрунтуються як на прямому вимірюванні параметрів стану поверхневих вод, так і на лабораторних аналізах складу заздалегідь відібраних проб, згідно з відповідними методиками. До другої групи належать різноманітні неконтактні методи, в яких використовують прилади, просторово відділені від об'єкту досліджень, головними можливостями яких є:

– висока оглядовість, можливість отримання миттєвої інформації про процеси, які відбуваються на великих за площею територіях;

– можливість переходу від дискретних вимірювань параметрів стану об'єктів, що зонду-

ються в окремих точках регіону, до безперервного зображення просторового розподілу відповідних показників;

– можливість отримання інформації у важкодоступних місцях.

Найбільш важлива особливість даних дистанційного космічного спостереження – непрямий характер отриманої інформації про об'єкти природного середовища [8].

На сьогодні тільки системи космічного дистанційного зондування завдяки широкому просторовому охопленню найбільш повно описують стан природного і, у тому числі, водного середовища.

Для динаміки процесів евтрофування водних об'єктів характерні значні коливання протягом року [9], а, отже, потрібно проведення частих спостережень.

Контроль за розвитком евтрофування поверхневих вод та антропогенним впливом на нього необхідно проводити досить часто протягом вегетаційного сезону, причому на досить щільній мережі пунктів контролю на водному об'єкті. У зв'язку з цим, проведення спостережень стану поверхневих вод на водосховищах з суттєвим просторовим різноманіттям з урахуванням динаміки рівня евтрофування лише контактними методами викликає суттєві труднощі.

Найбільш доцільні такі обстеження виконувати методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) спільно з методами наземного контролю. Спільне використання цих методів сприятиме підвищенню точності і оперативності спостережень, а, отже, і підвищенню ефективності оперативних управлінських рішень в галузі природокористування, які приймаються на їх основі.

Для оцінки інтенсивності процесів евтрофування достатнім є визначення альгологічних або пігментних показників водного середовища. Проте, для докладної характеристики процесу потрібні комплексні дослідження. По-перше, необхідні дані про такі характеристики водного середовища, як прозорість, насиченість киснем, вміст кисню, вміст сполук біогенних елементів, показники окислюваності, мікробіологічні та токсикологічні показники, продукційно-деструкційні характеристики. По-друге, необхідним є аналіз стану донних відкладень за вмістом сполук біогенних елементів і органічних речовин, а також за альгологічними, пігментними, мікробіологічними й токсикологічними показниками.

Незважаючи на пряму кореляцію між вмістом біогенних елементів і біомасою фітопланктону за середніми даними за вегетаційний сезон (за багаторічною динамікою [10]), внутрисезонні та міжводоймові залежності не такі однозначні. Значний вміст біогенних елементів свідчить радше про потенційні можливості виникнення «цвітіння» (приміром, гідрологічні умови конкретного водного об'єкту чи метеорологічні умови конкретного року «цвітінню» можуть і не сприяти). Безпосередньо підчас інтенсивного розвитку фітопланктону швидкість оберту біогенних елементів сягає доби й менше, а, отже, мінеральні форми споживаються досить швидко, а їх вміст не завжди є показовим в такому масштабі часу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Для оцінки інтенсивності «цвітіння» достатнім є визначення альгологічних або пігментних показників водного середовища.

Вміст біомаси фітопланктону, на відміну від вмісту хлорофілу, є розрахунковим показником (функцією чисельності з урахуванням видового складу й розмірів), а, отже, менш вірогідним.

Таким чином, показник вмісту хлорофілу-А наразі використовується для визначення «цвітіння» води водних об'єктів.

Вміст хлорофілу в фітопланктоні можна вважати провідним, поряд з альгологічними показниками, оскільки він прямо характеризує інтенсивність розвитку й накопичення мікроводоростей, тоді як гідрохімічні показники евтрофованості вод, такі як вміст біогенних елементів чи лабільної органічної речовини, або насиченості киснем є непрямими

Актуальною є необхідність оцінки біомаси та біооб'єму фітопланктону за вмістом пігментів водоростей, зокрема – фікоціаніну, які слугують для поглинання сонячного світла під час процесу фотосинтезу [11]. а саме дослідження зв'язку між величиною флюоресценції одного зі специфічних пігментованих білків ціанобактерій – фікоціаніну (in vivo) та біооб'ємом ціанобактерій.

На теперішній час розробка та використання інструментів для точної оцінки ціанобактеріального біооб'єму при «цвітінні» евтрофованих водних об'єктив базується на вимірах вмісту фікоціаніну як у лабораторних умовах, так і in situ, часто з залученням сучасних методів дистанційного зондування – «Remote Sensing» [12].

Фікоціанін (PC) – один з найважливіших додаткових пігментованих білків – фікобіліпротеїнів (PBP), які належать до фотосинтетичного апарату ціанобактерій (синьозелених водоростей), багрянок (червоних водоростей), а також криптофітів (джгутикових водоростей).

Фікобіліпротеїни (PBP) перелічених вище водоростей (а головне – ціанобактерій) збираються у фікобілісоми (PBS) – комплекси, які виконують функцію антен у пігментному апараті фотосинтеза цих водоростей.

PBS є гігантськими надмолекулярними комплексами, маса яких досягає 3000–7000 кДа, та акумулює у собі від 200 до 500 ковалентно пов'язаних з білком фікобілінових хромофорів, PBS ціанобактерій, червоних глаукофітових, та кріптофітових водоростей поглинають світло з хвиль довжиною від 400 нм до 750 нм, завдяки чому ці водорості здатні існувати

у середовищах, де інші водорості виживають з великими труднощами.

Новизна. На сьогодні відомо більш десяти фікобіліпротеїнів, які підрозділяються на три класи: фікоеритрини (РЕ), фікоціаніни (РС), та алофікоціаніни (АРС) [13].

Вміст РВР у клітинах відповідних водоростей досягає 60% маси всього водорозчинного білка або 20% сухої ваги. РВР набули відомість з першої половини 19-го сторіччя, коли був одержаний перший з них, фікоціанін [14]. З того часу фікобіліпротеїни водоростей, а в наш час – особливо фікоціанін, є важливим об'єктом досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Яскраве забарвлення, високий вміст у клітинах водоростей, водорозчинність, відносна простота вилучення – характерні риси РВР.

Головною ознакою, яка дозволяє вважати той або інший білок – пігмент індивідуальним фікобіліпротеїном (РВР), слугує якісний та кількісний склад хромофорів – структурних одиниць молекул, які відповідають за оптичні властивості тих чи інших речовин. Розподіл фікобіліпротеїнів (РВР) на класи у залежності від кількості хромофорів виглядає наступним чином:

– Алофікоціанін (АРС) – має два хромофори;

– Фікоціаніни (РС) та фікоерітроціанін (РЕС) – мають три хромофори;

– Фікоеритрини (РЕ) – містять п'ять або шість хромофорних груп [13].

Фікобіліпротеїни (РВР) належать до кислих білків. Для РВР притаманна здатність до агрегації. У концентрації, яка наближується до 10-7 М, РВР утворюють (αβ)1-мономери або докладніше – (αβ)-гетородимери. РВР легко кристалізуються; кристали мають вигляд самоцвітів.

РВР різняться не тільки за кількістю хромофорів, а і за спектрами їх поглинання (тобто за максимумами їх хвиль поглинання λ):

1) Алофікоціанін (АРС); λmax = від 650 до 665 нм;

2) Фікоціаніни (РС); λmax = від 590 до 625 нм;

3) Фікоерітроціанін (РЕС); λmax = від 590 до 625 нм;

4) Фікоеритрини (РЕ); λmax = від 490 до 570 нм.

Фікобілісоми (PBS) – це супрамолекулярний світлозбираючий пігментно-белковий комплекс, який утворений шляхом з'єднання полих дисків тримерів та гексамерів фікобіліпротеїнів (РВР) у циліндри, що збираються у фікобілісоми (PBS). Збірка РВР у циліндри відбувається за допомогою безбарвних лінкерних білків.

Типовими для ціанобактерій э напівдископодібні фікобілісоми (PBS). У центрі напівдиска знаходяться три циліндра, довжиною 12–15 нм та діаметром кожен біля 11 нм, які мають у перетині спільний трикутний контур. Перпендикулярно до бокових сторін трикутника примикають шість більш довгих циліндрів того ж діаметру, які розташовуються у формі напівкола у вигляді віяла. Центральна тригранна частина PBS зветься ядром, а периферична має назву «бокові циліндри». Кожен з трьох циліндрів ядра складається з чотирьох тримерів, а бокові циліндри – з декількох зістикованих гексамерів фікобіліпротеїнів (РВР), причому бокові циліндри не містять алофікоціаніна, якій є цілком зосередженим у ядрі. Зовнішні частини бокових циліндрів PBS складаються з гексамерів фікоеритрина, а проксимальна частина, яка примикає до алофікоціанінового ядра, утворена фікоціаніном (рис. 1) [13].

На сьогодні пігментований білок фікоціанін вважається маркерним пігментом ціанобактерій, тобто є індикатором рівня розвитку достатку (великої кількості) ціанобактеріальних «цвітінь». Інформація про вміст фікоціаніну дає можливість розрахувати величину біооб'єму та біомаси «квітучих» ціанобактерій.

Існує велика множина наукових досліджень [15], у яких поняття «маркерний пігмент ціанобактерій» щодо фікоціаніну набуло характер сталості [12].

Враховуючи існування поняття планктон-еквівалентів [16], поширеними прикладами еквівалентів яких є відомі відповідності: 1 мкг хлорофіла = 34,5 мкг сухої органічної речовини; 1 мкг хлорофіла = 0,139 мм^3 об'єму водоростей тощо, маємо змогу зробити аналіз напрямків досліджень авторів багатьох країн світу, присвячених визначенню фітопланктонних-еквівалентів при дослідженні евтрофованих водних об'єктів за останні 2–3 десятиріччя. В основному мова їде про еволюцію досліджень вмісту важливіших пігментів водоростей – хлорофілу та фікоціаніну – та їх співвідношення з біомасою, біооб'ємом водоростей тощо, що відображено нижче.

Хлорофіл-а широко використовується для оцінки величини біомаси прісноводного та морського фітопланктона, завдяки його наявності у всіх автотрофах та відносну легкість аналізу. В наш час доступними є кілька підходів для вимірювання хлорофілу-а, включаючи високоефективну рідину хроматографію (HPLC), спектроскопію та флюорометрію [17].

Ціанобактерії містять фікобілінові пігменти – фікоціанін (більш притаманний прісноводним таксонам ціанобактерій) та фікоеритрин (більш характерний для морських водоростевих таксонів), які мають максимум поглинання світла у діапазоні від 550 до 650 нм (зокрема, для фікоціаніну – 62 нм; для фікоеритрину – 580 нм). Ці пігменти надають ціанобактеріям характерний синьозелений колір, що використовується для виробництва харчового синього барвника, вартість виробництва якого досягає $10–50 млн./рік. Це певною мірою детермінує існування досить високого ступеня дослідження методів екстракції, очищення та визначення фікоціаніну з водоростевої маси [18].

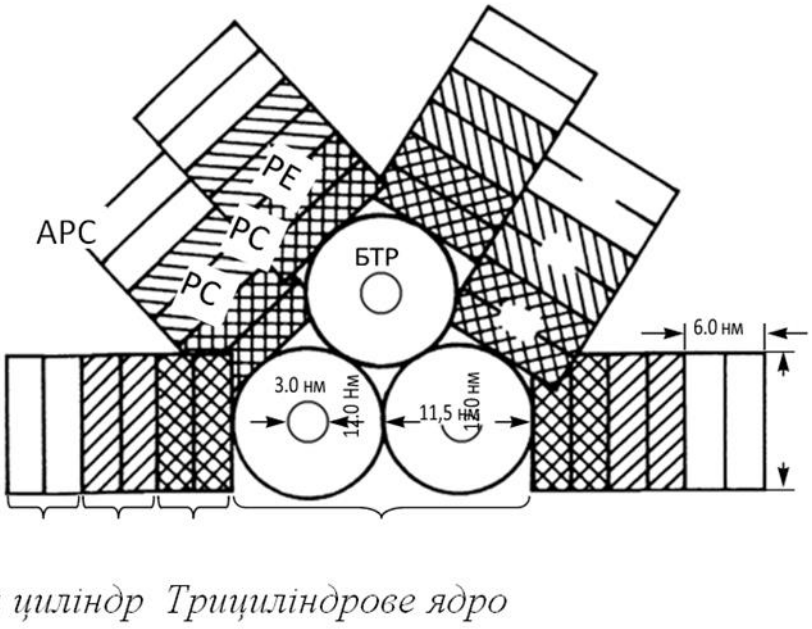


Рис. 1. Будова напівдископодібних фікобілісом, які складаються з алофікоціанінового трьохциліндрового ядра та шістьох бокових циліндрів, які утворені зістикованими гексамерами фікоціаніна та фікоеритрина (APC – алофікоціанін, PC – фікоціанін, PE – фікоеритрин)

Зростає інтерес науковців до визначення допоміжних специфічних пігментів ціанобактерій (зокрема, фікоціаніну) для кількісної оцінки біомаси «квітучих» ціанобактерій [19].

При визначенні вмісту фікобіліпротеїнових пігментів та, зокрема, фікоціаніна велику роль відіграє процес (або етап) екстракції бажаного пігмента з відповідної біомаси ціанобактерій.

Увага дослідників до фікоціаніну посилюється, адже наявність даних щодо вмісту цього маркера розвитку ціанобактерій дає реальну можливість прогнозування рівня розвитку «квітучої» біомаси ціанобактерій, у тому числі токсигенних видів, як чинника небезпечного впливу на здоров'я людини.

На теперішній час розроблені різноманітні алгоритми розрахунку біооб'єму (біомаси) «квітучих» ціанобактерій на базі визначення співвідношення вмісту основних фотосинтезуючих пігментів ціанобактерій – хлорофілу-а та фікоціаніну, які наводяться в багатьох дослідженнях

Фікоціанін на теперішній час розглядається закордонними дослідниками як маркерний пігмент для кількісного оцінювання достатку ціанобактеріальних цвітінь, через визначення вмісту якого можливо швидко розрахувати величину біооб'єму ціанобактерій.

Флюорометрія фікоціаніну є життєздатним методом для менеджерів водного господарства з метою швидкої оцінки ціанобактеріальних біооб'ємів при «цвітінні» евтрофованих водних об'єктів.

Методи визначення фікоціаніну доповнюють інші мікроскопічні, молекулярні та хімічні методи і сприяють одержанню більш повної картини CyanoHABs у регіональному та глобальному масштабі.

Перспективи використання результатів дослідження. Майбутні дослідження можуть бути зосереджені на забезпеченні всебічного аналізу інтенсивності CyanoHABs та виявленню потенційно «квітучих» водних об'єктів, що може бути впроваджено з залученням визначення вмісту фікоціаніну як індикатора таких «цвітінь».

Знання ступеня «цвітіння» (достатку) евтрофованих водних об'єктів завдяки визначенню вмісту фікоціаніну дозволяє менеджерам водного господарства визначити дієві стратегії управління водними об'єктами.

Антропогенне евтрофування складових довкілля та його наслідки у вигляді «цвітіння» зрештою може призвести до деградації природних біоценозів, популяцій та навіть екосистем, до порушення процесів гомеостазу, накопичення токсичних метаболітів, що несе загрозу для здоров'я людини. В умовах військових дій, які призводять до екоциду навколишнього природного середовища, масштабних руйнувань, надходжень забруднюючих речовин в атмосферне повітря, водне середовище та грунти, значного посилення процесів евтрофування, що обгрунтовує обов'язковість проведення еколого-соціальних (медичних) досліджень їх впливу на умови життєдіяльності населення.

Література

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (Last accessed: 18.07.2023).
2. Дмитрієва О.О. Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України: монографія. Київ: РВПС України НАН України. 2008. 459 с.
3. Ковальчук Л. Й., Мокієнко А. В. Сучасний еколого-гігієнічний стан водних об'єктів Українського Придунав'я. *Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія*. 2014. № 3 (37). С. 171–183.
4. Мокієнко А.В. Ціанобактерії і ціанотоксини: міф чи реальність? Вісник НАН України. 2016. № 4. С. 65–75.
5. Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й. Українське Придунав'я: гігієнічні та медико-екологічні основи впливу води як фактора ризику на здоров'я населення: монографія. Одеса : Прес-кур'єр, 2017. 352 с. URL: https://www.onmedu.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/10881/Mokiienko.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Last accessed: 18.07.2023).
6. Codd G.A., Azevedo S.M.F.O., Bagchi S.N. et al. CYANONET: a global network for Cyanobacterial bloom and toxin risk management; initial situation assessment and recommendations. Int. Hydrol. Progr. VI: Technical Documents in Hydrology. № 76. Paris: UNESCO, 2005. 138 p.
7. Красовський Г. Я., Петросов В. А. Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем та прогнозу водоспоживання міст. К. : Наукова думка. 2003. 224 с.
8. Байрак Г.Р., Муха Б.П. Дистанційні дослідження Землі : Навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 712 с.
9. Курейшевич А.В. Пігментні характеристики фітопланктону у практиці екологічного моніторингу дніпровських водосховищ / Тези доп. 1-го з'їзду Гідроекол. т-ва України. К.: Ін-т гідробіології НАН України, 1994. С. 108.
10. Дерезюк Н. В., Медінець В. І., Газєтов Є. І Дослідження фітопланктону у прибережних водах острова Зміїний в 2016-2017 рр. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Вип*. 30, 2018. С. 40–64.
11. Jo-Marie E. Kasinak, Brittany M. Holt, Michael F. Chislock, Alan E. Wilson. Benchtop fluorometry of phycocyanin as a rapid approach for estimating cyanobacterial biovolume *Journal of Plankton Research*, Vol. 37(1). 2015. P. 248–257. URL: https://doi.org/10.1093/plankt/fbu096 (Last accessed: 18.07.2023).
12. Sobiechowska-Sasim M., Ston-Egiert J. and Kosakowska, A. (Quantitative analysis of extracted phycobilin pigments in cyanobacteria-an assessment of spectrophotometric and spectrofluorometric methods. *Journal of Applied Phycology*. 2014. Vol. 26, P. 2065–2074. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-014-0244-3 (Last accessed: 18.07.2023).
13. Незберицька І. М., Курейшевич А. В., Васильченко О. А., Миненко А. Б. Вміст фікобіліпротеїнів у біомасі синьозеленої водорості Phormidium autumnale f. uncinata за умов зміни температури культивування. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2014. № 2. С. 1–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2014_2_11 (Last accessed: 18.07.2023).
14. Green BR. Was «molecular opportunism» a factor in the evolution of different photosynthetic light-harvesting pigment systems? *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001. 98(5). P. 2119–2121. URL: 10.1073/pnas.061023198 (Last accessed: 18.07.2023).
15. Dmitrieva O., Khorenzaiya I., Vasilyenko V., Teliura N., Lomakina O., Melnik L., Koldoba I. Choosing the phytoremediation technologies for cleaning various types of wastewater. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* 2020. Vol. 2 (10 (104). P. 27–37. URL: doi: 10.15587/1729-4061.2020.200591 (Last accessed: 18.07.2023).
16. Jo-Marie E. Kasinak, Brittany M. Holt, Michael F. Chislock, Alan E. Wilson. Benchtop fluorometry of phycocyanin as a rapid approach for estimating cyanobacterial biovolume, *Journal of Plankton Research*. 2015. Vol. 37 (1). P. 248–257. URL: https://doi.org/10.1093/plankt/fbu096 (Last accessed: 18.07.2023).
17. Lorenzen C. A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.* 1966. 13. P. 223–227.
18. Siegelman, H. W. and Kycia, J. H. Algal biliproteins. In Hellebust, J. A. and Craigie, J. S. (eds), Handbook of Phycological Methods: *Physiological & Biochemical Methods.* Cambridge University Press, Cambridge, 1978. P. 72–78.
19. Stewart D. E., Farmer F. H. Extraction, identification, and quantification of phycobiliprotein pigments from phototrophic plankton. *Limnol. Oceanogr.* 1984. 29. P. 392–397.

УДК 556.085
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.9

ІНДИКАТОРИ ЧУТЛИВОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

Дядін Д.В.[1], **Дрозд О.М.**[1,2], **Свергуненко А.С.**[1]
[1]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
[2]Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC
Avenida Montañana, 1005, 50059, Zaragoza, España
dmytro.diadin@kname.edu.ua, olena.drozd@kname.edu.ua,
anna.svergunenko@kname.edu.ua, odrozd@eead.csic.es

Сталий розвиток територій в умовах зміни клімату потребує застосування підходів кліматоорієнтованого екологічного врядування. Для підвищення кліматичної стійкості міст, розробки та впровадження адаптаційних заходів необхідною є попередня детальна оцінка ризиків та вразливості природних ресурсів та інфраструктурних складових міст до зміни клімату. Багато міст світу мають подібні ризики та вразливість до зміни клімату, тому для спрощення обміну досвідом, інтегрування наявних підходів, практик, адаптаційних заходів доцільним є застосування уніфікованих підходів оцінки ризиків та вразливості до зміни клімату. Ризик і вразливість до зміни клімату рекомендовано оцінювати за індикаторами перебування під дією, чутливості та адаптаційної здатності. Індикаторні оцінки ризиків і вразливості урбоекосистем дають змогу об'єктивізувати та деталізувати потенційно небезпечні наслідки зміни клімату, що є необхідним для протидії наслідкам зміні клімату. У статті розглядається одна з ключових сучасних проблем міських територій – збереження водних ресурсів в умовах зміни клімату. Визначення чутливості водних об'єктів до кліматичних явищ є необхідною складовою розробки заходів з адаптації та оцінки їх ефективності. Внаслідок дії кліматичних загроз, які включають підвищення температури повітря, зміну режиму випадіння атмосферних опадів, зростання частоти й інтенсивності стихійних погодних явищ, підняття рівня моря, формуються ланцюжки прямого та опосередкованого впливу на стан і якість водних ресурсів на урбанізованих територіях. У роботі комплексно розглянуто чутливість поверхневих і підземних водних ресурсів міських територій та запропоновано переліки індикаторів оцінювання чутливості за трьома категоріями – гідрологічна, соціально-економічна та екологічна. Для кожної з категорій обґрунтовано доцільність кожного з індикаторів з урахуванням специфіки функціонування міських територій. Запропонована система оцінювання чутливості водних ресурсів міст до зміни клімату дозволяє удосконалити підходи до оцінки ризиків і вразливості для подальшого обґрунтування, розробки і впровадження кліматоорієнтованих адаптаційних заходів та підвищення кліматичної стійкості міст. *Ключові слова:* сталий розвиток, водні ресурси, міські території, екосистемні функції, чутливість, зміна клімату, індикатори, система оцінювання.

Indicators of sensitivity of water resources of urban areas to climate change. Diadin D., Drozd O., Sverhunenko A.
Sustainable development in the context of climate change requires approaches of climate-oriented environmental governance. To increase the climate resilience of urban areas and to develop and implement adaptation measures, a detailed preliminary assessment of risks and vulnerability of natural resources and infrastructural elements of urban areas to climate change is essential. Many cities in the world have similar risks and vulnerability to climate change, so to facilitate exchange of experience, integration of available approaches, practices and adaptation measures, it is appropriate to apply harmonized approaches for assessing risks and vulnerability to climate change. Risk and vulnerability to climate change are recommended to assess by indicators of exposure, sensitivity and adaptive capacity. Indicators-based assessments of risks and vulnerability for urban ecosystems enable to objectify and specify potentially hazardous effects of climate change, which is essential for mitigation to climate change impacts. The article considers one of crucial current problems of urban areas – water resources preservation in the context of climate change. Determination of water bodies sensitivity to climate effects is an essential part of developing adaptation measures and evaluating its effect. As a result of climatic hazards, including increasing air temperature, changing precipitation regime, increasing frequency and intensity of natural hazardous weather events, sea level rising, a chains of direct and indirect impact on the state and quality of water resources in urbanized areas are formed. The sensitivity of surface and groundwater on urban areas is comprehensively discussed and the lists of indicators for assessing sensitivity in three categories – hydrological, socio-economic and ecological – is proposed. For each category, feasibility of each indicator has been justified considering the specifics of urban areas functioning. Proposed assessment of urban water resources sensitivity to climate change enables to improve the approaches to risk and vulnerability assessment for further substantiation, developing and implementing climate-oriented adaptation measures and improving the urban climate resilience. *Key words:* sustainable development, water resources, urban areas, ecosystem functions, sensitivity, climate change, indicators, assessment methodology.

Постановка проблеми. Наразі 56% населення світу (4,4 мільярда мешканців) проживає у містах [1]. Очікується, що ця тенденція збережеться, і до кінця 2050 року кількість міського населення збільшиться більше ніж вдвічі. Спеціальна доповідь Міжнародної групи експертів зі зміни клімату 1.5° [2] визначає урбанізацію ключовим чинником викидів парникових газів. На частку міст припадає 71–76% викидів CO_2 від глобального кінцевого споживання енергії [3, 4]. Міжнародна спільнота науковців і практиків працює над широким спектром управлінських і технологічних рішень пом'якшення наслідків зміни клімату і адаптації, що включають розвиток зеленої та блакитної інфраструктури, підвищення потенці-

алу екосистемних послуг і біорізноманіття в містах, широке впровадження природоорієнтованих технологій, міське сільське господарство, сталу транспортну систему, протидію забрудненню, сприяння розвитку відновлюваної енергетики. Ці заходи вважають шляхами розвитку кліматично стійких міст та підвищення їхньої придатності для життя відповідно до Цілі сталого розвитку 11 – Сталий розвиток міст і громад [5].

Поточні та прогнозовані наслідки впливу зміни клімату варіюють у різних містах, залежно від наявних загроз, масштабу впливу та вразливості міста. Більшість впливів пов'язують зі змінами періодичності та тривалості проявів екстремальних погодних явищ. Хвилі спеки, сильні опади, повені, посухи визначено найсерйознішими небезпеками, що пов'язані із кліматом і погодою. Очікується, що частота, інтенсивність та масштаби їх проявів будуть зростати [6, 9, 27]. Серед можливих наслідків для міст – посилення ефекту міського острова тепла, що збільшує ризики для вразливих груп населення, зміна обсягів і якісного складу поверхневого стоку, підтоплення, затоплення узбережжя та берегова ерозія, дефіцит води та надмірна експлуатація водних ресурсів, вразливості геологічного і грунтового середовища, біорізноманіття, екосистемних послуг, ймовірності природних пожеж, стійкості міської інфраструктури, поширення захворюваності на трансмісивні хвороби та інші. Вплив зміни клімату на міські території є широкомасштабним і може мати руйнівні наслідки.

Незважаючи на прогнозовані ризики, багато міст досі не вирішили проблему протидії, пом'якшення наслідків та адаптації до зміни клімату. Серед причин – відсутність у містах відповідної політики та планів дій, що зумовлено недостатністю об'єктивної оцінки ризиків та вразливості впливу зміни клімату на компоненти урбосистеми. Як наслідок – неадаптованість нормативно-правових актів у сфері містобудування та охорони довкілля до зміни клімату; повільне реагування на наслідки впливу зміни клімату через брак потенціалу та ресурсів; недостатня поінформованість громадськості про мінливість клімату та шляхи пом'якшення небезпек, спричинених зміною клімату [6, 7].

Багато міст світу мають подібні ризики та вразливість до зміни клімату. Тому розуміння поточних тенденцій є необхідним для запобігання потенційним збиткам, пов'язаним зі зміною клімату, і мінімізації впливу самих міст на стан довкілля на глобальному рівні. Постає нагальна потреба оцінки ризиків та вразливості до зміни клімату міського середовища, оскільки це сприятиме обміну знаннями та досвідом адаптації для широкомасштабного впровадження в різних регіонах.

Актуальність роботи. Водні ресурси, виконуючи численні екологічні і соціальні функцій, мають особливу цінність у містах. Стратегією екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні до 2030 року водні ресурси визначено одним з пріоритетних соціально-економічних секторів, для яких необхідним є оціннювання ризиків та вразливості до зміни клімату. На основі оцінки формуються плани дій з адаптації до зміни клімату, враховуються поточні і прогнозовані наслідки зміни клімату в стратегічному плануванні на національному, регіональному та місцевому рівнях та під час будівництва об'єктів інфраструктури [8].

В умовах зміни клімату швидка урбанізація та економічний розвиток призводять до зростання пресингу на водні ресурси. Це проявляться в значному попиті на якісну питну воду, перебоях з водопостачанням, виснаженні підземних вод, забрудненні поверхневих водних об'єктів тощо. З точки зору управління ризиками, складна структура міст утруднює оцінювання ризиків та вразливості до зміни клімату та планування адаптації на рівні міста [9]. Проблема збереження водних ресурсів стає все більш актуальним питанням для багатьох міст світу. Тому оцінка ризиків та вразливості впливу зміни клімату на водні ресурси та інші компоненти урбанізованого довкілля з урахуванням специфіки впливу організаційно-функціональної структури міст є особливо актуальною.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Оцінка ризиків та вразливості впливу зміни клімату на водні ресурси міст є необхідною для сталого розвитку територій і відповідає Цілям сталого розвитку 6 – Чиста вода та належні санітарні умови, 11 – Сталий розвиток міст і громад, 13 – Пом'якшення наслідків зміни клімату, основним положенням Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року [8], Водної стратегії України на період до 2050 року [10], Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [11], зорема цілі 2 – Забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України, в якій з поміж іншого наголошено про необхідність зменшення негативного впливу процесів урбанізації на навколишнє природне середовище та забезпечення сталого управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні міста є мозаїчними структурами, де житлова, промислова та комунальна інфраструктури тісно переплітаються зі штучними та природними екосистемами. Фрагментація міського простору стирає межі між різними екосистемами і міське середовище стає єдиною урбоекосистемою, в якій зелена та блакитна інфраструктура відіграють ключову біоценотичну роль [12, 13]. Частка блакитної інфраструктури у загальній площі міста часто значно нижча, ніж у природних умовах, однак, це є індивідуальною особливістю кожного окремого міста або різних районів одного і того самого міста. Послуги

водних екосистем залежать від клімату, географічного розташування, економічних і культурних умов суспільства. Різноманітні характеристики блакитної інфраструктури в містах (тип водойми, розмір водотоку, морфометричні параметри, природне різноманіття, генезис, поточний екологічний стан, розташування на території міста тощо) створюють певний потенціал і діапазон надання екосистемних функцій: біоценотичних, фітоценотичних, гідрологічних, біогеохімічних, мікрокліматичних, ландшафтних і т.і. та відповідних груп екосистемних послуг. Концентрація населення і забудови, зміна природного ґрунтового покриву, збільшення частки водонепроникних поверхонь, підвищений вміст хімічних і токсичних біогенних речовин негативно впливають на потенціал надання та підтримки екосистемних послуг водних ресурсів у містах [12]. Особливо гостро ця проблема постає для територій з низьким рівнем забезпеченості водними ресурсами і високим ступенем вразливості до зміни клімату, до яких належить і Україна [14]. Аналітичні оцінки впливу зміни клімату на формування поверхневого річкового стоку для умов України показують ймовірність двох протилежних тенденцій – зменшення водного стоку і, відповідно, зменшення запасів місцевих водних ресурсів, або навпаки, збільшення стоку в окремі сезони та формування умов надзвичайних екологічних ситуацій (катастрофічні паводки, повені, підтоплення тощо) [14].

Згідно існуючих методологічних підходів [15, 19, 20] ризик і вразливість до зміни клімату рекомендовано оцінювати за індикаторами перебування під дією, чутливості та адаптаційної здатності. Наукові дослідження показали дієвість застосування індикаторного підходу для цільового оцінювання ризиків і вразливості, особливо при зосередженні на одній або кількох кліматичних загрозах, що зумовлюють певний ризик чи вразливість аналізованої системи (тепловий стрес, повені [21, 22, 23]). Застосування індикаторного підходу для оцінювання широкого переліку ризиків і вразливості великих систем часто має методологічні складності та обмеження через їх специфічність та відсутність стандартизованих підходів [24].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наразі в Україні відсутній затверджений комплексний перелік показників для оцінки ризиків та вразливості урбанізованих територій до зміни клімату, який би відповідав стандартизованим міжнародним підходам [19, 20] та затвердженим рекомендаціям [15]. Наявні різноманітні науково-практичні підходи, що націлені на дослідження міських індикаторів оцінки ризиків та вразливості до впливу зміни клімату [24, 25, 26] не уніфіковані, мають пошуковий характер та часто не враховують ризики і вразливість до зміни клімату природних ресурсів міст. Вразливість водних ресурсів міст до зміни клімату є недооціненою і потребує розробки індикаторного підходу для об'єктивної оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату.

Новизна. На основі комплексного аналізу актуальних методологічних підходів запропоновано набір можливих індикаторів чутливості водних ресурсів міст до впливу зміни клімату для підвищення об'єктивності оцінки потенційних ризиків та вразливості з метою розробки, пріоритезації й оцінювання ефективності адаптаційних заходів для міських територій.

Методологічне або загальнонаукове значення. При комплексному оцінюванні потенційних ризиків та вразливості міст до зміни клімату важливо усвідомлювати зв'язки та ступінь взаємодії природних та антропогених складових урбоекосистеми. Неможливість охоплення усіх загроз, ризиків та «секторів» міста кількома універсальними індикаторами потребує розробки переліку потенційних загроз, ризиків та факторів вразливості для кожного з її елементів. У статті запропоновано індикаторний підхід оцінювання чутливості водних ресурсів міських територій до зміни клімату, який розроблено у відповідності до загального методологічного концепту щодо оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату [15]. Даний перелік є гнучким до урахування специфіки використання водних ресурсів кожного окремого міста та може бути удосконалений.

Викладення основного матеріалу. Водні ресурси міських територій зазвичай представлені як поверхневими, так і підземними водними об'єктами. Поверхневі водні об'єкти у містах включають річки, струмки, озера, водосховища і ставки, вода з яких може забиратися для питного водопостачання, господарсько-побутових і технічних потреб. Самі водні об'єкти часто слугують для рекреаційних цілей, можуть використовуватися для водного транспорту та розвитку рибного господарства. Підземні води на територіях міст використовують для питного та технічного водопостачання за допомогою глибоких водозабірних свердловин, приватних колодязів і каптажів джерел – природних виходів підземних вод на поверхню землі, облаштованих для індивідуального водокористування.

У різних містах України характер і частка використання поверхневих і підземних водних ресурсів істотно відрізняються, що, безумовно, має впливати на зміст і підходи до оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату. Зокрема, місто Харків – друге після столиці за кількістю населення – 95% об'єму води для господарсько-питних потреб споживає із поверхневих водних об'єктів (р. Сіверський Донець і канал Дніпро – Донбас). Натомість, в інших обласних центрах, наприклад у Полтаві й Сумах, централізоване питне водопостачання повністю базується на підземних водах артезіанського сеноман-нижньокрейдового водоносного горизонту, який експлуатується

водозабірними свердловинами на глибинах більше 100 м від поверхні землі.

Разом з тим, у будь-якому місті України є річки, у тому числі малі, що мають цінне значення як осередки біорізноманіття та регулятори мікроклімату, а також використовуються для рекреації та оздоровлення містян.

Під час оцінювання ризиків і вразливості до зміни клімату важливо визначити об'єкт або територію оцінювання, які перебувають під дією кліматичних загроз. Оцінка ризиків і вразливості водних ресурсів до зміни клімату, як правило, проводиться для річкових (водозбірних) басейнів [16, 17, 18]. Проте, у разі проведення оцінки для міської території, ми фокусуємося саме на ній, і маємо оцінити стан всіх наявних водних об'єктів, що прямо чи опосередковано використовуються міським населенням. До переліку цих водних об'єктів увійдуть поверхневі та підземні води на території міста, а також водні об'єкти за межами міста у разі наявності систем перекидання води з сусідніх водозбірних басейнів.

Для визначення чутливості водних ресурсів міста до зміни клімату та встановлення індикаторів, якими можна виміряти або об'єктивно оцінити чутливість, на першому етапі необхідно визначити кліматичні загрози, їхні впливи та можливі наслідки для водних об'єктів та міської території в цілому.

Основними кліматичними загрозами для водних об'єктів міст України виступають:

– підвищення температури повітря та пов'язане з цим підвищення величини випаровування;

– зміна кількості атмосферних опадів і розподілу їх по сезонах протягом року;

– зростання частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ (зокрема, сильних злив і повеней);

– підвищення рівня моря внаслідок танення льодовиків і термічного розширення Світового океану (актуально для міст на узбережжі Чорного та Азовського морів).

Впливи кліматичних загроз у світовій практиці прийнято розглядати у вигляді ланцюжків, оскільки зміни майже завжди носять каскадний ланцюговий характер, а їхні наслідки розгалужуються.

Найбільш очевидним ланцюжком негативних впливів кліматичних загроз на водні ресурси міст є зменшення їхньої кількості внаслідок зниження загальних запасів природної вологи в басейні. Підвищення температури повітря та зменшення атмосферних опадів призводить до зниження природного живлення у водному балансі, що виражається у зниженні рівнів води в поверхневих водних об'єктах і статичних рівнів верховодки і першого від поверхні водоносного горизонту. Наслідком цих процесів є дефіцит водних ресурсів для водокористування, що є особливо критичним для міських територій на фоні постійного зростання загальної чисельності міського населення. Крім того, внаслідок дефіциту вологи відбувається деградація водних і водно-болотних екосистем, а також виникають економічні збитки у сферах річкового транспорту, рекреації і туризму, рибальства і рибництва (рисунок 1).

Збільшення загальної кількості атмосферних опадів, зростання частоти випадіння екстремально сильних опадів створює передумови формування повені, руйнування берегів водотоків та затоплення прибережних територій, таким чином створюючи ризики надзвичайних ситуацій та пов'язаних з ними втрат майна і людського життя (рисунок 2).

Залежно від ландшафтної будови території міста, складу ґрунтового покриву і гірських порід, типу покриття земної поверхні можливими є прояви й інших ланцюжків впливу, пов'язаних із ключовими кліматичними факторами – зміною температури та опадів. Зокрема, наслідками надмірного зволоження може бути активізація небезпечних геологічних процесів на забудованих територіях – зсувів, суфозії, карсту, просідання лесових ґрунтів. Окрім прямої небезпеки для людей та будівель, ці процеси призводять до ландшафтних змін, які відбиватимуться на умовах живлення поверхневих і підземних вод. Крім

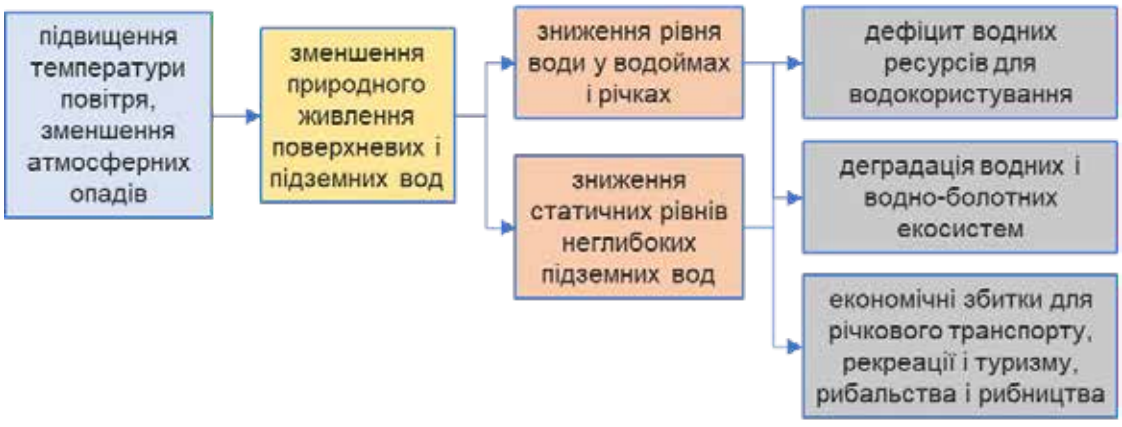


Рис. 1. Ланцюжок впливу зміни клімату на водні ресурси міста, пов'язаний з дефіцитом водних ресурсів

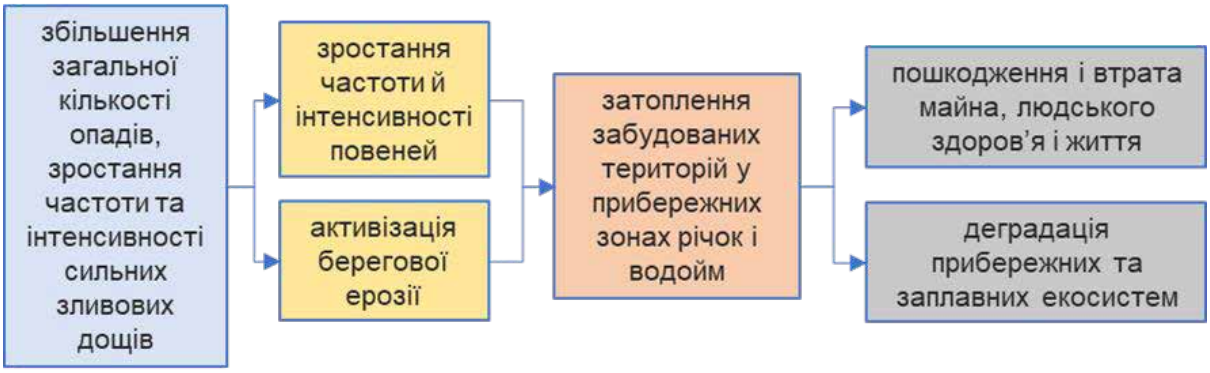


Рис. 2. Ланцюжок впливу зміни клімату на водні ресурси міста, пов'язаний з надмірною кількістю атмосферних опадів

того, сильні зливові опади та надмірно різке танення снігу є факторами посилення ерозії ґрунту, що знижує якість поверхневих вод і сприяє замуленню русел річок через винесення значних об'ємів завислих речовин із поверхневим стоком.

Не менш важливі ланцюжки впливу виникають через дію кліматичних загроз на біорізноманіття водних об'єктів та надання ними екосистемних послуг. Підвищення температури змушує найбільш чутливі види змінювати свої ареали, мігрувати, а також сприяє розповсюдженню інвазійних теплолюбних видів, нехарактерних для даних водних екосистем.

Ретельне складання ланцюжків впливу з урахуванням усіх можливих наслідків є запорукою успішного оцінювання вразливості водних ресурсів міської території та ефективного підбирання заходів із адаптації до зміни клімату.

Відповідно до загальновизнаних понять, чутливість є ступенем, до якого система зазнає негативного впливу зміни клімату [27].

Залежно від аспектів, що аналізуються, фактори чутливості компонентів довкілля доцільно розділяти за напрямами – фізичні, географічні, екологічні, соціально-економічні та інші. Чутливість водних об'єктів міських територій до зміни клімату ми пропонуємо розглядати за такими напрямами:

– гідрологічна чутливість: показники зміни гідрологічного режиму водного об'єкту (витрата потоку, рівень води) та гідроморфологічні характеристики;

– соціально-економічна чутливість: показники використання води населенням (об'єми забору води, якість води, особливості систем водокористування);

– екологічна чутливість: показники біорізноманіття водних екосистеми (екосистемні послуги, ступінь біорізноманіття, наявність цінних видів і оселищ).

Відповідно, для кожної з представлених трьох категорій чутливості необхідно ідентифікувати ключові фактори та індикатори (показники) чутливості. Останні мають бути представлені конкретними кількісними характеристиками для вимірювання ступеню чутливості. У таблиці 1 нижче представлені найважливіші, з нашої точки зору, індикатори гідрологічної чутливості, які пропонуються до використання. Для кожного індикатора вказаний зв'язок з чутливістю: плюс означає, що зі зростанням значення індикатора зростає й чутливість, мінус – навпаки, зв'язок зворотній.

Соціально-економічна чутливість в основному пов'язана з особливостями водокористування в басейні, й, здебільшого, із залежністю населення чи підприємств від водних ресурсів оцінюваного водного об'єкту. Найбільш чутливими системами водокористування слід вважати системи питного та господарсько-побутового призначення, оскільки їхня експлуатація безпосередньо пов'язана з життєво важливими потребами населення та станом його здоров'я. Технічне, рекреаційне та рибогосподарське водокористування не такі критичні, але також мають важливе соціальне та економічне значення, тому мають бути враховані в оцінці чутливості.

У переважній більшості міст України існують умови для комбінування джерел водокористування різних типів. Тому, істотним фактором чутливості є диверсифікованість джерел водокористування на оцінюваній території, яка фактично визначає ступінь залежності населення від водних ресурсів того чи іншого джерела (таблиця 2).

Диверсифікованість джерел водокористування на міській території може бути забезпечена за рахунок: 1) поверхневих водних об'єктів (річок, водосховищ), 2) підземних водоносних горизонтів на різній глибині та 3) водних об'єктів, розташованих поза межами басейну, що оцінюється (трансбасейнове перекидання води). Остання схема водокористування доволі часто практикується у міських населених пунктах України (наприклад, м. Харків – р. Сіверський Донець і канал Дніпро-Донбас, м. Чернівці – р. Прут і р. Дністер та інші).

Напевно, найскладнішими для оцінки факторами чутливості є екологічні, тобто такі, що пов'язані з функіонуванням водного об'єкту як середовища існування рослин і тварин, забезпеченням біорізноманіття та наданням водним об'єктом екосисемних

Таблиця 1

Гідрологічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обгрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Розмір водного об'єкту/водозбірного басейну	Малі річки та водойми більш чутливі до зміни клімату	Відносна площа (% від загальної) водойм з площею водного дзеркала менше 3 га	+
		Відносна довжина (% від загальної) водотоків з площею водозбору менше 10 тис. км^2	+
Буферна здатність заплави знижувати витрату води під час паводків та водопілля	Відсутність прибережної водної рослинності прискорює швидкість потоку під час повеней, зменшує ступінь самоочищення поверхневого і річкового стоку	Відносна довжина (% від загальної) берегів водотоку з плавнями, заростями вищої водної рослинності	-
Трансформованість русла водотоків	Штучне випрямлення русла і закритість берегів набережними сприяє зростанню швидкості потоку під час повеней	Відносна довжина (% від загальної) трансформованих ділянок русла: штучно випрямлених, закритих набережними, підземних каналізованих	+
Порушення умов формування водного стоку в басейні	Наявність ділянок відкритого (незадернованого) грунту сприяє ерозії та винесенню завислих речовин з поверхневим стоком	% ділянок відкритого (незадернованого) грунту в межах водозбірної площі	+
	Значна площа непроникних поверхонь на забудованих територіях знижує інфільтрацію та сприяє накопиченню надлишкового поверхневого стоку	% непроникних поверхонь (дахи будівель, дороги, автостоянки) в межах водозбірної площі	+
	На територіях, вкритих природною рослинністю, зростає буферна здатність щодо нівелювання коливання у водному балансі	Частка територій, вкритих природною рослинністю, від загальної площі водозбірного басейну, %	-
Ризик повені	Наявність гідрологічних і кліматичних передумов виникнення значної повені підвищує чутливість	Наявність історичних даних щодо прояву значних повеней із затопленням заплави річки	+
		Існування ризику затоплення заплави річки за результатами гідрологічного і кліматичного моделювання максимальних значень річкового стоку	+
Ризик підняття рівня моря	Наявність гідрологічних і кліматичних передумов підняття рівня моря в поєднанні з низьким рівнем розташування берегової забудови підвищує чутливість	Існування ризику затоплення прибережної зони за результатами гідрологічного і кліматичного моделювання максимальних значень підняття рівня моря	+
Ресурси підземних вод	Наявність водоносних горизонтів із високою водовіддачею та значними запасами води сприяють низькій чутливості	Реальна або потенційна забезпеченість місцевих потреб ресурсами підземних вод через каптажі джерел, колодязі або водозабірні свердловини, %	-

послуг. Це зумовлено складністю кількісного вимірювання показників, що характеризують стан водних екосистем. Але важливо наголосити, що будь-який поверхневий водний об'єкт на території міста, навіть значно трансформований, є певним осередком біорізноманіття, виступає складовою екомережі та створює екосистемні послуги. Підземні води на ділянках свого розвантаження у вигляді джерел і джерельних зон також забезпечують функціонування екосистем, залежних від підземних вод [28].

Найважливішими показниками екологічної чутливості водних об'єктів можна вважати наявність

Таблиця 3

Екологічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обгрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Рідкісність видів і цінність оселищ	Наявність рідкісних видів рослин і тварин та зникаючих типів оселищ у водних екосистемах підвищує їхню чутливість	Кількість рідкісних видів	+
		Наявність цінних і зникаючих оселищ	+
Стабільність кисневого режиму	Вміст розчиненого кисню та його коливання протягом року є одним із визначальним факторів розвитку гідробіонтів	Переважання кисневого режиму недостатнього насичення	+
Залежність екосистем від підземних вод	Залежність водної екосистеми від підземних вод у певній мірі знижує її чутливість до кліматичних показників через більшу стабільність та інертність режиму підземних вод	Наявність екосистем, залежних від підземних вод	-

рідкісних видів рослин і тварин у водних екосистемах, а також зникаючих оселищ із переліку в Бернській конвенції, що потребують спеціальних заходів для їх збереження [29] (таблиця 3).

Іншим значним фактором чутливості водним екосистем до зміни клімату є інтенсивність водообміну у водному об'єкті. Вона визначає його температурний режим та насиченість води киснем, що в свою чергу є життєво важливим для розвитку переважної більшості гідробіонтів [30].

Залежно від конкретних умов, не всі з вищенаведених індикаторів чутливості будуть однаково актуальні для певної міської території. Проте, необхідно оцінити ступінь прояву кожного з них. Як рекомендують найкращі практики [19, 20], для кількісного визначення індикаторів необхідно використовувати єдину шкалу відносних значень від 0 до 1 для можливості коректного порівняння індикаторів між собою та урахування їхнього внеску в загальну чутливість і вразливість до зміни клімату. Для спрощення системи оцінювання рекомендуємо для кожного індикатора категоризувати діапазон значень, який може набувати індикатор для оцінюваної території. Категорії відповідатимуть різним рівням чутливості, наприклад низька-середня-висока. Межі значень індикатора для кожної категорії необхідно вибирати на основі експертних думок з урахуванням місцевих знань. Наприклад, такий індикатор екологічної чутливості, як наявність рідкісних видів рослин і тварин у водних екосистемах, можна категоризувати таким чином:

– відсутні відомості щодо наявності рідкісних видів – низький рівень чутливості, значення показника 0;

– є певні ознаки або передумови для існування рідкісних видів – середній рівень чутливості, значення показника 0,5;

– наявність рідкісних видів задокументована в результаті польових обстежень – високий рівень чутливості, значення показника 1.

Якщо індикатор представлений числовими значеннями, наприклад, чисельність населення, що мешкає в зоні ризику затоплення через повінь, категоризація відбувається для діапазону його значень – від мінімального до максимального.

Висновки. Збереження водних ресурсів в умовах зміни клімату є стратегічно важливим завданням для міських територій. Крім основного призначення – використання води для питних, господарсько-побутових, технічних та інших потреб – водні ресурси забезпечують збереження біорізноманіття та підтримують мікроклімат на забудованих територіях. Наявність достатніх площ водних об'єктів у місті сприяє зниженню температури повітря, послабленню міського острову тепла та підвищенню вологості повітря. Разом з тим, водні ресурси міст є уразливими до зміни клімату завдяки переважно прямому зв'язку їхнього живлення з режимом випадіння атмосферних опадів і температурою повітря.

Для подолання негативних наслідків зміни клімату та ефективної адаптації міського середовища необхідно розуміти вразливість водних ресурсів міста. Оцінка вразливості до зміни клімату передбачає визначення чутливості наявних водних об'єктів до кліматичних загроз, яка в свою чергу оцінюється з використанням інформативних та релевантних індикаторів. Нами запропоновані набори індикаторів чутливості для трьох категорій – гідрологічної, соціально-економічної та екологічної, які охоплюють всі ключові аспекти функціонування та використання водних об'єктів на території міст. Важливим аспектом вважаємо рекомендацію комплексно розглядати місцеві водні ресурси як сукупність підземних і поверхневих вод, адже для багатьох міст України потенціал використання підземних вод часто залишається недооціненим.

Запропоновані індикатори гідрологічної чутливості характеризують гідрологічний режим водних об'єктів, гідроморфологічні умови та зміну якості

Таблиця 2

Соціально-економічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обгрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Типи водокористування	Співвідношення різних типів водокористування визначає ступінь цінності водних ресурсів для населення. Чим вище частка питного та господарсько-побутового користування, тим вище чутливість	Частка питного та господарсько-побутового водокористування водним об'єктом, %	+
Диверсифікованість джерел водокористування	Чим більше різних джерел водокористування (поверхневі водойми, різні водоносні горизонти), тим менше чутливість до зміни водних ресурсів	Кількість джерел водокористування за водними об'єктами різних типів: поверхневі водозабори (у тому числі трансбасейнове перекидання води), колодязі, каптажі джерел, артезіанські свердловини (з урахуванням глибини водоносного горизонту)	-
Водоємне споживання	Підприємства з водоємним виробництвом споживають великі об'єми води і залежать від кількості доступних водних ресурсів	Наявність водоємних підприємств	+
Населення території	Чим більша кількість людей, що мешкає на території та споживає водні ресурси та їх екосистемні послуги, тим вище чутливість	Чисельність населення на водозбірній площі, осіб	+
		Відносна чисельність населення (у % від загальної), що мешкає в прибережних зонах	+
Збитки від затоплення	Перебування постійного населення та будівель у прибережній зоні річки або моря підвищує ризики збитків внаслідок повені або підняття рівня моря	Наявність житлової забудови, інфраструктури, промислових об'єктів у зоні можливого затоплення (розміри зони необхідно визначати моделюванням за кліматичними сценаріями)	+
Збитки від обміління	Зниження рівня води в річці та її обміління призводять до збитків у сфері річкового транспорту, рекреації та рибогосподарства	Наявність активної діяльності у сфері річкового транспорту, рекреації та рибогосподарства	+

води під впливом зміни живлення і порушення водного балансу внаслідок зміни клімату. Індикатори соціально-економічної чутливості враховують аспекти водокористування, залежності населення і виробництва від місцевих водних ресурсів, а також загрози щодо збитків і втрат внаслідок дії кліматичних явищ на режим водних об'єктів. Індикатори екологічної чутливості визначають цінність водних об'єктів як осередків біорізноманіття та постачальників екосистемних послуг, що є не менш важливим, ніж економічне значення водних ресурсів.

Наведені переліки індикаторів пропонується використовувати при оцінюванні ризиків і вразливості до зміни клімату водних ресурсів на міських територіях у рамках реалізації положень Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні на період до 2030 року.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень рекомендовано використовувати експертам із проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату та розробки заходів з адаптації на міських територіях. Ці роботи є складовою планів розвитку територій, планів дії зі сталого енергетичного розвитку та клімату міських громад і інших кліматоорієнтованих стратегічних документів.

Література

1. Urban development. Overview. URL: https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment (дата звернення: 11.07.2023)
2. Initiatives in the area of human settlements and adaptation. Summary report by the secretariat. Bonn. 2017. URL: https://unfccc.int/documents/9664 (дата звернення: 11.07.2023)
3. Global Warming of 1.5°C an IPCC special report. 2018. URL: https://www.ipcc.ch/sr15/download/(дата звернення: 17.07.2023)
4. Cities and climate change : global report on human settlements. 2011 / United Nations Human Settlements Programme. 300 p. URL: http://www.unhabitat.org/grhs/2011 (дата звернення: 12.07.2023)

5. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (дата звернення: 12.07.2023)
6. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. URL: https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/ (дата звернення: 08.07.2023)
7. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office. 2021. URL: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office_climate-change-impacts-for-ukraine_report_12dec2021_ukrainian.pdf (дата звернення: 10.07.2023)
8. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-р#Text (дата звернення: 10.07.2023)
9. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
10. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-р#Text (дата звернення: 10.07.2023)
11. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16. Ст.70. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text (дата звернення: 10.07.2023)
12. Jakubiak, M., Chmielowski, K. Identification of urban water bodies ecosystem services. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus, 2020. № 19 (3). P. 73–82. DOI: https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2020.19.3.73
13. Bolund, P. and Hunhammar, S. Ecosystem Services in Urban Areas. Ecological Economics, 1999. № 29. P. 293–301. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0
14. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (резюме дослідження). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Під ред. Садогурської С.С. Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 32 с.
15. Про затвердження Методичних рекомендацій для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023 № 386. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386926-23#Text (дата звернення: 02.07.2023)
16. Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds. ESSA Technologies Ltd, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2013. URL: https://www.cakex.org/documents/tools-climate-change-vulnerability-assessments-watersheds (дата звернення: 21.07.2023)
17. Мартинюк М.О., Овчарук В.А. Просторова і часова мінливість максимального стоку в басейні вісли в умовах кліматичних змін. *Екологічні науки.* № 3 (48). С. 148–155. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.24
18. Осипов В.В., Осадча Н.М., Осадчий В.І. Кліматичні зміни та водні ресурси басейну Десни до середини XXI століття. Доповіді Національної академії наук України. 2021. № 2. С. 71–81.
19. The Vulnerability Sourcebook – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. GIZ, adelphi, EURAC. Eppelheim, 2014. 180 pp.
20. ISO 14091:2021 – Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. ISO/TC 207/SC 7. 39 p.
21. Dugord, P.-A., Lauf, S., Schuster, C., Kleinschmit, B. Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems.* 2014. Vol. 48. P. 86–98. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2014.07.005
22. Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G., Botzen, W.J.W., 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science and Policy.* Vol. 47. P. 42–52. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013.
23. Babanawo D., Mattah P.A.D., Agblorti, S.K.M., Brempong E.K., Mattah M.M., Aheto, D.W. Local Indicator-Based Flood Vulnerability Indices and Predictors of Relocation in the Ketu South Municipal Area of Ghana. Sustainability 2022, Vol. 14. P. 56–98. DOI: https://doi.org/10.3390/su14095698
24. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк М., Ілляш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК). Myflaer, Київ. 2014. 74 с.
25. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату міст: Львів, Одеса, Хмельницький та Ужгород. URL: https://ucn.org.ua/?p=3201 (дата звернення: 12.07.2023)
26. Оцінка вразливості до зміни клімату Рівненської громади та рекомендації щодо заходів з адаптації. URL: https://ecoclubrivne.org/adaptation_research_rivne/ (дата звернення: 18.07.2023)
27. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. URL: https://ucn.org.ua/?p=3201 (дата звернення: 18.07.2023)
28. Jakem A. J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo J. D., Ross A. Groundwater De-pendent Ecosystems: Classification, Identification Techniques and Threats. Integrated Groundwater Management. 2016. P. 313–346. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23576-9_13 (дата звернення: 15.07.2022)
29. Resolution No. 4 (1996) listing endangered natural habitats requiring specific conservation measures. URL: https://rm.coe.int/16807469e7 (дата звернення: 15.07.2022)
30. Осадчий В.І., Осадча Н.М. Кисневий режим поверхневих вод України. Наукові праці українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту 2007. Вип. 256. С. 265–285.

УДК 502.3:504: 582:591
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.10

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ Р. МОКРА МОСКОВКА

Рильський О.Ф., Домбровський К.О., Воронова Н.В., Горбань В.В., Дударєва Г.Ф., Притула Н.М.
Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя
znu@znu.edu.ua

У статті досліджено вплив 200-річної урбанізації на зміну біорізноманіття в гирлі струмка Мокра Московка та прилеглих територій шляхом вивчення кількісних та якісних змін у видовому складі басейну річки Мокра Московка. Виявлено особливості і біологічну специфіку нижньої, середньої та верхньої ділянок прибережної частини річки Мокра Московка, для яких проводився дендролого-таксаційний опис. Проведено комплексне дослідження видів флори та фауни річки Мокра Московка з урахуванням екологічних аспектів біорізноманіття. Методику дослідження побудовано на основі таких підходів та методичних складових, як принцип перетворення, еволюційний підхід, методичні позиції біотичних факторів тощо. Для аналізу гідробіологічного матеріалу (зоопланктон) у лабораторії використовували низку загальноприйнятих методів. Крім того, застосовано рекогносцирувальний (маршрутний) облік території та формування уявлення про загальне таксономічне розмаїття. Проаналізовано склад трав'янистої флори, видовий склад вищих водяних рослин, зоопланктону тощо. Визначено головні загрози біорізноманіття, які полягають у знищенні природного середовища існування тварин і місць зростання рослин, їх фрагментації та деградації (включаючи забруднення), у глобальній зміні клімату, екологічно незбалансованій експлуатації видів людиною, поширенні чужорідних видів, поширенні хвороб тощо. Запропоновано способи очищення води від органічних речовин, біогенних елементів та інших забруднювачів, що покращить видове різноманіття зоопланктону, зообентосу та перифітону і призведе до відновлення процесів природного самоочищення цієї водної екосистеми. Впровадження заходів із локального біологічного очищення води у річці дозволить досягнути суттєвого природоохоронного ефекту. *Ключові слова*: видовий склад, таксономічні групи, біорізноманіття, річка Мокра Московка, урбанізація, водні джерела, гідробіологічний матеріал.

Ecological aspects of the formation of biodiversity of the Mokra Moskovka river. Rylskyi O., Dombrovskyi K., Voronova N., Horban V., Dudaryeva G., Prytula N.

The article examines the impact of 200-year urbanization on the change in biodiversity in the mouth of the Mokra Moskovka stream and the surrounding areas by studying quantitative and qualitative changes in the species composition of the Mokra Moskovka river basin. The peculiarities and biological specificity of the lower, middle and upper sections of the coastal part of the Mokra Moskovka river were revealed, for which a dendrological and taxonomic description was carried out. A comprehensive study of the species of flora and fauna of the Mokra Moskovka River was conducted, taking into account the ecological aspects of biodiversity. The research methodology is built on the basis of such approaches and methodological components as the principle of transformation, evolutionary approach, methodological positions of biotic factors, etc. For the analysis of hydrobiological material (zooplankton), a number of generally accepted methods were used in the laboratory. In addition, reconnaissance (route) accounting of the territory and the formation of an idea of the general taxonomic diversity were applied. The composition of herbaceous flora, the species composition of higher aquatic plants, zooplankton, etc. was analyzed. The main threats to biodiversity are identified, which consist in the destruction of the natural habitat of animals and plant growth, their fragmentation and degradation (including pollution), global climate change, ecologically unbalanced exploitation of species by humans, the spread of alien species, the spread of diseases, etc. Methods of water purification from organic substances, biogenic elements and other pollutants are proposed, which will improve the species diversity of zooplankton, zoobenthos and periphyton and lead to the restoration of natural self-purification processes of this water ecosystem. The implementation of measures for local biological water purification in the river will allow to achieve a significant nature protection effect. *Key words*: species composition, taxonomic groups, biodiversity, Mokra Moskovka river, urbanization, water sources, hydrobiological material.

Постановка проблеми. Збереження біорізноманіття є одним із основних завдань, яке належить вирішувати людям як сьогодні, так і в найближчому майбутньому. Не викликає заперечення той факт, що виживання людини як виду залежить тільки від того, наскільки ми зможемо зберегти природу в сучасному вигляді, а й від можливостей її максимальної реабілітації.

Так, німецький дослідник Stefan Engel стверджує, що на сьогодні у природі налічується близько 2 млн видів живих організмів (при цьому оцінки загальної кількості біологічних видів на Землі, як мінімум, на порядок вищі – 10–20 млн [1]. Кількість екосистем – астрономічно велика. Проте, за деякими даними [2], швидкість вимирання становить у середньому 36 тис. видів на рік. Порівняно з природними еволюційними процесами вимирання видів, що мали місце в минулому, темпи їх зникнення зросли більш ніж у тисячу або навіть у 10 тис. разів.

Безперечно, одна із основних причин цього загрозливого явища – це зростання масштабів господарської діяльності, зійснюваної людиною. Урбанізація, будівництво залізниць і автомобільних доріг і загалом будь-який вид господарської діяль-

ність людини, проведеної у значних масштабах у річкових басейнах, долинах і руслах річок, означає втручання у життя річок, що може викликати увтому водному режимі істотні, а часом і докорінні зміни.

Актуальність дослідження, з огляду на зазначене, полягає в необхідності виявлення впливу урбанізації на біологічне різноманіття, зокрема і водних ресурсів, оскільки зменшення біорізноманіття здебільшого є результатом діяльності людини. Основними загрозами для біорізноманіття є незаконне будівництво та вирубка лісів, браконьєрство, знищення середовища проживання видів, господарська діяльність, зміна клімату, забруднення навколишнього середовища, неконтрольована експлуатація природних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання екологічних аспектів формування біорізноманіття річок було предметом наукової уваги українських та зарубіжних дослідників, зокрема таких, як К.О. Домбровський, І.В. Загороднюк, Ю. Квач, Ю. Куцоконь, О.П. Маркевич, Ю.В. Мовчан, М.А. Муленко, М.М. Мусієнко, О.П. Ольхович, A. Angelsen, P. Jagger, R. Babigumira, F. Manes, G. Incerti, E. Salvatori, M. Vitale та інших. Так, у науковій роботі під керівництвом Ф. Манеза зазначається, що здебільшого в сучасних містах для задоволення своїх потреб у свіжій воді жителі використовують поверхневі водні джерела, якість води в яких безпосередньо пов'язана з рівнем забруднення ґрунту, повітряного та водного басейнів, трансформації наземних екосистем у межах водозбірного басейну, а також від самоочисної здатності водних і прибережних водних екосистем [3, с. 351-252].

Не можна не погодитися із думкою таких дослідників, як К. Редфорд та Г. Мейс, які зазначають, що такі процеси зумовлені життєдіяльністю багатьох груп гідробіонтів, включаючи вищі водні та прибережно-водні рослини [4]. Оскільки основні властивості поверхневого водного об'єкта визначаються притоками, що живлять його, від властивостей останніх і будуть у підсумку залежати багато експлуатаційних характеристик водного джерела. Зміни в частці популяцій видів порушують наявні трофічні, симбіотичні та конкурентні відносини між видами. Спільною рисою для багатьох видів є зменшення розміру тіла, очікуваної тривалості життя та зниження плодючості. Наслідком усього цього, як вказують Н. Бенет, Р. Рот, С. Клейн стає погіршення функцій екосистем і зменшення їх різноманітності [5].

Новизна дослідження полягає в аналізі екологічних аспектів формування біорізноманіття р. Мокра Московка з метою визначення ефективних заходів мінімізації постійного, переважно деструктивного, антропогенного впливу.

Мета і завдання дослідження. Метою нашої роботи є дослідження впливу 200-річної урбанізації на зміну біорізноманіття в гирлі струмка Мокра Московка та прилеглих територій шляхом вивчення кількісних та якісних змін у видовому складі басейну річки Мокра Московка.

Завдання дослідження: виявити особливості і біологічну специфіку нижньої, середньої та верхньої ділянок прибережної частини річки Мокра Московка для яких проводився дендролого-таксаційний опис; використати системний підхід до аналізу стану річки Мокра Московка; провести комплексне дослідження видів флори та фауни річки Мокра Московка з урахуванням екологічних аспектів біорізноманіття; здійснити ідентифікацію найнебезпечніших джерел, що впливають на стан екосистеми річки Мокра Московка.

Методологічне або загальнонаукове значення. І. Методику дослідження побудовано на основі наступних підходів та методичних складових:

1. Принцип перетворення. У біологічних системах живі організми беруть участь у процесі перетворення та передачі речовини та енергії, що є основою існування трофічних ланцюгів та мереж. Безперечно, основою функціонування екосистем різних рангів є біологічний кругообіг речовини. Ланками даного ланцюга безпосередньо виступають організми, властиві тій чи іншій біологічній системі.

2. Еволюційний підхід. Еволюцію екологічних систем, яка не зачіпає абіотичне середовище, можна розглядати як прогресуючу спеціалізацію багатьох видових популяцій, що призводить до звуження ніш, і, як наслідок, до звільнення деяких частин ліцензій. Екологічні ніші флори та фауни утворюють комплементарні пари. Ніша породжується тим, хто її займає.

3. Методичні позиції біотичних факторів, за якими ми виділяємо три причини еволюційної стабільності популяцій та видів: 1) збереження адаптивного значення, тобто оптимальної функціональної відповідності середовищу, тих чи інших ознак організму. Доки таке співвідношення не змінюється, діє стабілізаційний відбір і ознаки зберігаються незмінними; 2) рівновага протидії один одному векторів рушійного відбору, при якому посиленню відбору в якомусь напрямку протидіє посилення відбору в іншому (інших) напрямку (напрямках); 3) внутрішньовидова різноманітність, що перешкоджає формуванню нових адаптацій.

Звичайно, якщо зміни середовища виходять за межі вже наявних адаптивних можливостей внутрішньовидового розмаїття, еволюція продовжується. У цьому сенсі можна говорити, що екологічна стійкість є однією з причин еволюційної стабільності.

ІІ. Морфологія річкових та балкових долин. Саме особливості морфології річкових долин і балок передусім свідчать про характер і напрямок тектонічних рухів, є одним із найважливіших факторів геоморфогенезу, обумовлених різноманітністю рельєфу та його форм [6]. Далі морфологічні особливості будови ерозійних форм рельєфу наочно відобража-

ють та підкреслюють вплив геоструктури, складу та властивості гірських порід та інших рельєфоутворювальних процесів на їх формування. І, нарешті, саме морфологія річкових долин і балок найчастіше допомагає нам зрозуміти значну кількість питань походження та історії розвитку гідромережі та взагалі рельєфу [7]. Крім того, дозволяє за допомогою фаціального аналізу та кореляції відкладень, що складають форми рельєфу, з'ясувати вікові інтервали, умови та характер прояву фаз денудації та осадонакопичення на неоген-четвертинному етапі геоморфогенезу.

Найбільшими річками, що розчленовують поверхню площі району дослідження, є річки Берда, Зелена, Камишеватка, Мокра Московка. Усі ці річки мають близьку до меридіонального напрямку течію та впадають до Азовського моря. Ріка Мокра Московка на території дослідження представлена своїми середніми та нижніми течіями [8]. Долини цих річок із морфологічного погляду мало чим відрізняються одна від одної. Це типово степові долини півдня України із чітко вираженою нормальною асиметрією схилів. Праві схили цих долин, як правило, високі та круті, розчленовані короткими та глибокими береговими ярами. Ліві схили їх широкі, пологі, терасовані, розчленовані багатьма неглибокими балками. Як виняток, у пригирлової частини річки Мокра Московка низькі пізньочетвертинні тераси, розвинені і на правому схилі. Заплава цієї річки не дуже широка, майже пласка, повсюдно заболочена, як правило, за винятком заплав. Мокра Московка ширша в гирловій частині долин. Ширина заплав цієї річки становить у середньому 300–400 м [9; 10].

Під час визначення територій, що повинні бути включені у структурні елементи екомережі як додаткові можуть використовуватися історичні критерії – дослідження історії господарського використання та природокористування території, популяційні критерії – дослідження популяцій типових та рідкісних видів тощо [11].

Гідробіологічний матеріал (зоопланктон) відбирали процідженням певного об'єму води (100 л) через планктонну конічну сітку Апштейна (газ № 72, діаметр вхідного отвору 18 см) у літоралі річки Мокра Московка. Матеріал фіксували 70% розчином етилового спирту. Подальше опрацювання проб та аналіз даних проводили на основі загальноприйнятих методів. У лабораторії за допомогою визначників ідентифікували видовий склад зоопланктону під стереомікроскопом.

Виклад основного матеріалу. Як уже зазначалося, під час дослідження були використані загальноприйняті методи. Основний метод, що застосовувався – рекогносцирувальний (маршрутний) облік території та формування уявлення про загальне таксономічне розмаїття. На території дослідження закладено 3 облікові маршрути (m^1-m^3), 10 пробних площ на суші, 3 пробні площі на водоймах (v1-v3). (див. рис. 1).

На території дослідження трапляються залишки від стихійних місць відпочинку з купами сміття. Токсичні сполуки зі звалищ згубно впливають на рослинність, призводять до зникнення великої кількості рослин і загрожують зникненням багатьох видів. Насадження рідкісні, деякі дерева стоять під кутом або повалені. У лісі пишно ростуть в'яз, ясен, клен, середньою висотою 4–6 м. На березі річці Мокра Московка в основному також ростуть в'яз звичайний, тополя, клен, ясен. Подекуди трапляється дуб звичайний. У дельтах річок ростуть плакучі верби [12].

Трав'яниста рослинність досліджуваної ділянки річки Мокра Московка представлена кількома типовими флороценовими таксонами, що сформувалися під впливом специфічних абіотичних умов та антропогенного навантаження. Рослинні угруповання формуються в умовах техногенного екологічного навантаження, надмірної рекреації, витоптування та засмічення промислових міст [13].

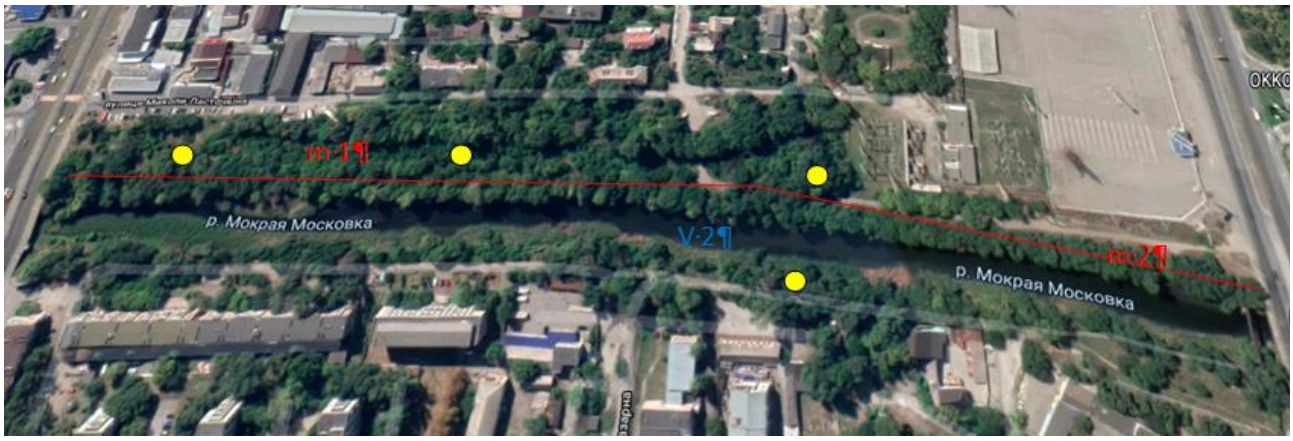
Таким чином, очікується більша представленість криптофітних та сирих видів у симбіотичній флорі. Склад флори кожного таксону типовий. Здебільшого рослинний покрив має стихійне походження та характеризується занедбаністю. Склад трав'янистої флори дослідної ділянки річки представлений 19 родинами вищих рослин (*Streptophyta)* царства Зелені рослини *(Viridiplantae)* (див. табл. 1) [14; 15].

Таблиця 1

Вищі рослини (Streptophyta) царства Зелені рослини (Viridiplantae)

№	Родина	Кількість видів
1.	Айстрові Asteraceae	10
2.	Злакові Poaceae	10
3.	Бобові Fabaceae	5
4.	Капустяні Brassicaceaвид	3
5.	Подорожникові Plantaginaceae	2
6.	Губоцвітні Lamiales	1
7.	Молочайні Euphorbiaceae	1
8.	Гречкові Polygonaceae	1
9.	Геранієві Geraniaceae	1
10.	Фіалкові Violaceae	1
11.	Гвоздичні Caryophyllace	2
12.	Щирицієві Amaranthaceae	1
13.	Маренові Rubiaceae	1
14.	Макові Papaveraceae	1
15.	Конопляні Cannabaceae	1
16.	Кропивові	1
17.	Глухокропивові Lamiaceae	1
18.	Берізкові Convolvulaceae	1
19.	Виноградові Vitaceae	1

а



б

в

Рис. 1. Схема розміщення пробних площ та облікових маршрутів – пробні площі на суші

*Фотозйомка під час досліджень проводилась з використанням професійного фотоапарату Canon D6.
v1 – v3 – номери пробних площ на водоймах
m^1 – m^3 – номери облікових маршрутів
– лінія облікового маршруту
а – нижня ділянка, б – середня ділянка, в – верхня ділянка.

Найбільшою кількістю видів характеризуються родини злакові та айстрові. Відомим представником родини айстрових є амброзія. Пилок амброзії потрапляє до дихальних шляхів людини і викликає алергію. Поширеними бур'янами є осот рожевий і цикорій, які також є медоносними та лікарськими рослинами. Уздовж узбережжя тарпляються окремі види дикого маку та диких конопель.

Усього виявлено 47 видів вищих судинних рослин 19-ти родин. Коефіцієнт флори (відношення числа родин до числа родів і видів) становить 1:2,6. Зрозуміло, що ці групи сформувалися під прямим впливом видовищного навантаження. Саме тому угруповання маловидові, з простою структурою і переважанням видів стрес-толерантів та рудералів.

Фітоугруповання річки Мокра Московка формуються в умовах антропогенного екологічного навантаження промислового міста, надмірної рекреації, витоптування, засмічення.

З усього переліку в районі впливу планової діяльності був виявлений тільки один вид, який входить до переліку Європейського червоного списку в категорії LC. Для Запорізької області він є абсолютно типовим і широко представлений у природних фітоценозах: латук татарський *Lactuka tatarika* L.

Під час гідроботанічного вивчення досліджених ділянок гирлової частини річки Мокра Московка проводили первинне ознайомлення з водотоком для з'ясування потенційних біотопів вищих водяних рослин (мілководні ділянки з піщаними чи мулистими донними відкладами тощо) [16].

Видовий склад вищих водних рослин на ділянці річки Мокра Московка, за даними досліджень, становить 7 видів. Серед виявлених видів вищих водних рослин найбільшу площу займає екологічна група водяних рослин, зокрема очерет очеретяний – багаторічна трав'яниста рослина роду очеретяних (Phragmites) родини Тонкоподібних (Poaceae).

Рослина характеризується широким екологічним діапазоном, росте в заплавах річок, на піщаних терасах вздовж водойм, на болотах і болотистих луках, у сирих чагарниках і болотах, добре переносить засолення, росте на узбережжях, затоках, солонцях. Вид не занесений до Червоної книги України та Бернської конвенції. Це досить поширена рослина, характерна для різних типів водойм України [9].

Максимальні за площею зарослі очерету звичайного було зареєстровано на верхній ділянці водотоку (з обох боків берегової смуги малої річки) в районі Автовокзалу. Очерет звичайний росте вздовж прибережної зони водотоку, довжина якої 300–350 м, а ширина 7–8 м.

На цій ділянці водотоку з повітряно-водної рослинності також були ідентифіковані невеликі зарості (довжина 10 м, ширина 3 м) комишу лісового (*Scirpus sylvaticus*). Зарості комишу лісового були виявлені у прибережній зоні правого берега річки. У товщі води даної ділянки водотоку спостерігався інший представник макрофітів – гідрофіт, рдесник кучерявий (*Potamogeton crispus*), який має довжину 3–4 м [17].

Поодинокі очеретяні килимки трапляються вздовж узбережжя, а окремі екземпляри Nuphar utea – у чистих водах водних шляхів. На територіях запланованих заходів ми виявили лише одну вищу водну рослину Глечик жовтий (Nuphar utea), який занесено до Зеленої книги України. Інші виявлені види макрофітів не занесені до Червоної книги України, Зеленої книги України, не належать до видів, що охороняються Бернською конвенцією, рідкісних видів, внесених до офіційного списку рідкісних рослин адміністративних областей України [18].

Відомо, що рівень біорізноманіття водойм визначається різноманітністю умов існування гідробіонтів: різницею глибини, гідродинамічних і гідрохімічних характеристик, відмінністю донних відкладень, взаємодією живих компонентів біогідроценозів і ступенем антропогенної трансформації.

Зоопланктон. Нами був досліджений зоопланктон річки Мокра Московка на трьох ділянках (станціях) – нижній, середній та верхній, тобто на акваторії водотоку, де саме й буде проводитись планова діяльність з розчищування гирлової ділянки русла малої річки. Об'єктом досліджень були представники основних груп зоопланктону: коловертки (клас *Eurotatoria*), веслоногі ракоподібні (клас *Copepoda*), іноді траплялись організми протістопланктону. Гіллястовусі (клас *Branchiopoda,* ряд *Cladocera*) і черепашкові (*Ostracoda*) ракоподібні та личинки двостулкових молюсків у пробах були відсутні.

Під час дослідження малої річки в літній (перша декада червня) період 2021 року було встановлено, що температура води досліджених ділянок коливалась у межах 18,5–19,8 градусів С, а показники розчиненого кисню – 5,2–6,8 мг O_2/дм^3.

У період спостережень зоопланктон обстеженої акваторії річки Мокра Московка відзначався невеликим таксономічним різноманіттям. У його складі виявлено 12 видів водних тварин, серед яких 10 видів *Rotatoria*, одним таксоном були представлені веслоногі ракоподібні *Copepoda* та інфузорії *Infusoria* (див. табл. 2).

У складі коловерток зареєстровано 4 родини та 8 родів, серед яких найбільшою кількістю видів представлені родини Brachionidae і Colurellidae (по 3 види кожна). Інші родини представлені 2 видами (Synchaetidae) або 1 видом (Euchlanidae) відповідно.

Видовий склад зоопланктону середньої ділянки водотоку був представлений 7 видами, які належать до 2 систематичних груп. Також тут траплялися напліальні стадії копепод. Щільність угруповання зоопланктону становила 4200 екз/м^3, а біомаса 5,3 мг/м^3. Переважав за щільністю в угрупованні *Polyarthra longiremis* (1200 екз/м^3), а за біомасою – *Brachionus calyciflorus calyciflorus* (2,4 мг/м^3).

Таблиця 2

Систематичний список видів зоопланктону р. Мокра Московка

Види (таксони)	верхня ділянка	середня ділянка	нижня ділянка
	Інфузорії		
1. *Thuricola kellicottiana* (Stokes)	–	+	–
	Коловертки		
1. *Anuraeopsis fissa* (Gosse)	+	+	–
2. *Brachionus calyciflorus calyciflorus* Pallas	+	+	+
3. *Cephalodella auriculata* (Muller)	–	+	–
5. *Euchlanis dilatata* Ehrenberg	–	+	–
6. *Keratella irregularis* (Lauterborn)	+	+	+
7. *Lepadella patella* (Muller)	–	–	+
8. *Polyarthra dolichoptera* Idelson	+	–	+
9. *Polyarthra longiremis* Carlin	–	+	+
10. *Squatinella tridentate* (Fresenius)	–	–	+
	Веслоногі ракоподібні		
1. Nauplii Copepoda	+	+	–
2. *Acanthocyclops americanus* (Marsh)	–	–	+
Кількість видів	**4**	**7**	**7**

Земноводні та іхтіофауна. Матеріалом для даного фауністичного зведення слугували власні дані дослідників, отримані впродовж другої половини червня, та дані на підставі досліджень уловів рибалок. До дослідженого переліку увійшли: клас Кісткові риби – *Osteichthyes*, *Ряд Коропоподібні – Cypriniformes,* Родина Коропові – *Cyprinidae*, Верховка звичайна – *Leucaspius delineatus*, Плітка звичайна – *Rutilus rutilus*, Карась сріблястий – *Carassius auratus*. *Ряд Колючкоподібні – Gasterosteiformes.* Родина Колючкові – Gasterosteidae. Колючка південна багатоголкова – *Pungitius platygaster.*

В основу списку земноводних та плазунів лягли результати наших польових досліджень у червні 2021 року: станом на червень 2021 року фауна досліджуваної території включала 1 вид земноводних та 4 види плазунів з 3 рядів. Наводимо систематичний список земноводних і плазунів [19; 20].

Клас Земноводні – Amphibia, *Ряд безхвості земноводні – Anura,* Родина Жаби – *Ranidae,* Жаба озерна – *Pelophylax ridibundus.*

Клас Плазуни – Reptilia, *Ряд Черепахи,* Черепаха болотяна – Emys orbicularis.

Ряд Ящірки – Sauria, Ящірка зелена – *Lacerta viridis. Ряд Змії – Serpentes,* Родина Вужоподібні – *Natricidae:* Вуж звичайний – *Natrix natrix*, Вуж водяний – *Natrix tesellata.*

Дослідження наземних безхребетних проводились на території берегової смуги річки Мокра Московка від залізничного мосту до Дніпра. Ми зареєстрували 61 вид комах з 10 рядів

Найбільша видова різноманітність спостерігається у рядів: *Coleoptera*, *Lepidoptera*, *Diptera*, а найменша у рядів: *Dermaptera*, *Neuroptera*, *Homoptera*, які представлені одним або двома видами, детальніше на рис. 2.

Птахи використовують воду як середовище проживання та корм. На досліджених ділянках було зафіксовано декілька різновидів птахів (див. табл. 3) рдесник кучерявий [21; 22, 23].

На досліджуваній території були виявлені: *Ряд Мишоподібні – Muriformes, Родина Мишеві – Muridae,* Миша хатня – Mus musculus, Пацюк мандрівний – Rattus norvegicus. *Родина Щурові – Arvicolidae* Полівка європейська – Microtus arvalis. *Ряд Собакоподібні – Caniformes, Родина Котові* – Felidae, Кіт свійський – *Felis silvestris catus.* Родина Псові – Canidae, Собака свійський – *Canis lupus familiaris.* Таким чином, ссавці в районі дослідження представлені 2 рядами, 4 родинами та 5 видами [24].

Здійснений аналіз дозволяє стверджувати, що головні загрози біорізноманіттю пов'язані сьогодні з діяльністю людини. Вони полягають у знищенні природного середовища існування тварин і місць зростання рослин, їх фрагментації та деградації (включаючи забруднення), у глобальній зміні клімату, екологічно незбалансованій експлуатації видів людиною, поширенні чужорідних видів, поширенні хвороб тощо.

При проведенні планової діяльності вплив на рослинний світ тимчасовий і полягає у видаленні деревної рослинності та кущів, складуванні ґрунту. Робота щодо реконструкції русла річки Мокра Московка не призведе до зменшення різноманіття видів флори.

Внаслідок того, що до гирлової ділянки річки Мокра Московка потрапляють зливові стічні води міста, які містять біогенні елементи, необхідно проводити заходи щодо локального біологічного очищення води обстежених ділянок водотоку. Для цього в місцях локального забруднення води малої річки

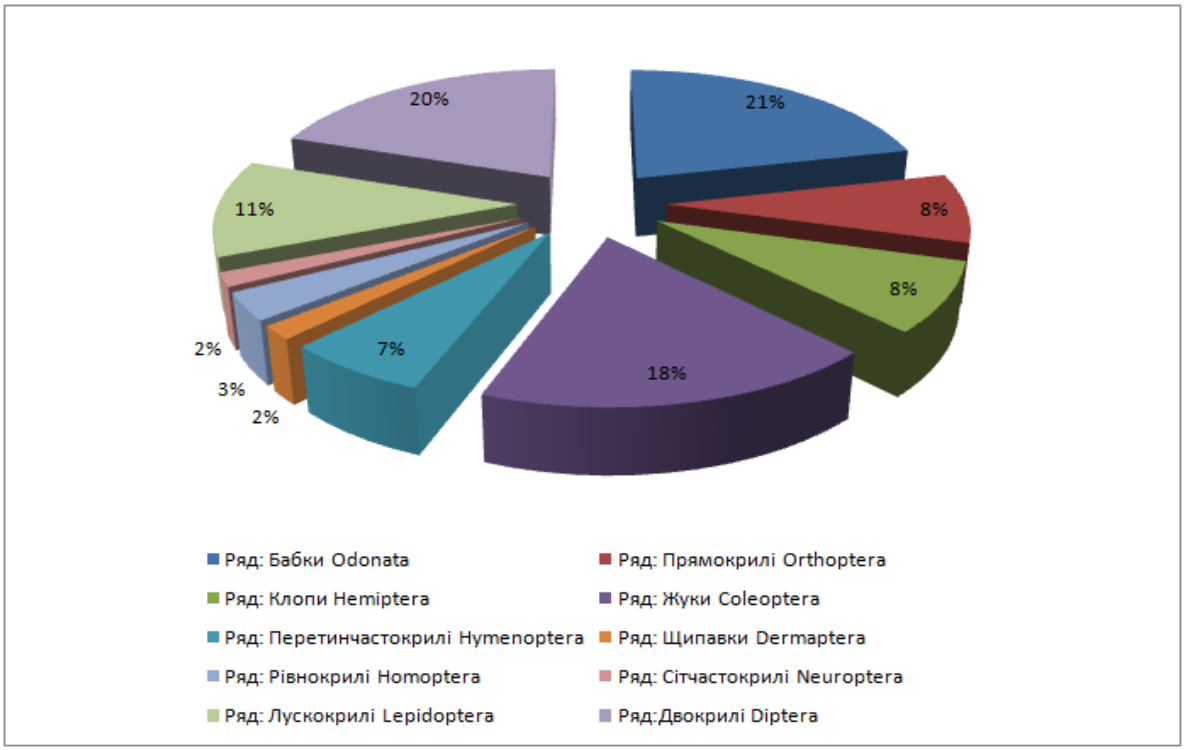


Рис. 2. Співвідношення за кількістю видів різних рядів комах

необхідно розмістити плаваючі несучі елементи у вигляді «плотиків», розміром 1,5×0,8 м, до нижньої поверхні яких закріпити волокнисті носії типу «ВІЯ» для іммобілізації (прикріплення) мікроорганізмів та інших гідробіонтів, які й будуть очищати воду від органічних речовин, біогенних елементів та інших забруднювачів води. Запропонована біотехнологія використовується для очищення зливових стічних вод промислових підприємств, поверхневих вод і навіть токсичних стічних вод, які містять гексаметілендіамін.

При використанні запропонованої біотехнології у гирловій частині річки Мокра Московка підвищиться видове різноманіття зоопланктону, зообентосу та перифітону, що призведе до відновлення процесів природного самоочищення цієї водної екосистеми. Впровадження заходів із локального біологічного очищення води в річці дозволить очікувати суттєвий природоохоронний ефект щодо поліпшення екологічного стану водної екосистеми, зокрема щодо зниження її евтрофікації та темпів «цвітіння» водотоку.

Головні висновки. Таким чином, здійснений аналіз показує загалом досить високу видову різноманітність флори малої річки Мокра Московка, що становить, за нашими підрахунками, близько 57% усієї флори водних макрофітів. Проте ця різноманітність обумовлена в основному високою часткою прибережно-водного та навколоводного компонентів у формуванні рослинного покриву річки Мокра Московка, тоді як участь представників водного ядра знижено через вплив комплексу несприятливих факторів як природного, так і антропогенного походження. Ця обставина дозволяє розглядати групу гідрофітів у спектрі екогруп водних макрофітів як найбільш чутливу до впливу несприятливих факторів середовища, що індукує стан напруженості річкової екосистеми загалом. З огляду на це для раціонального використання поверхневих водних джерел в межах урбанізованої території необхідно брати до уваги стан біотичної складової екосистем притоків, що живлять їх.

У районі впливу планової діяльності був виявлений тільки один вид, який входить до переліку Європейського червоного списку у категорії LC. Для Запорізької області він є абсолютно типовим і широко представлений у природних фітоценозах: Латук татарський (*Lactuka tatarika* L.) До ентомофауни досліджуваного району входить два види, які занесені до Червоної книги України, – *Lucanus cervus* і *Papilio machaon*. Виконання робіт за плановою діяльністю не призведе до знищення цих видів, а вплив на їх життєдіяльність буде тимчасовим і незначним. Серед вищої водяної рослинності виявлено лише один вид, який занесено до Зеленої книги України, – глечик жовтий (*Nuphar lutea*). Ця родина добре визначається візуально, тому проведення планових робіт у місцях локалізації рослини необхідно виконувати з урахуванням цього застереження.

Для запобігання забрудненню води річки Мокра Московка різноманітним сміттям, що приноситься течією до зони проєктних планових робіт, необ-

Таблиця 3

Результати обліку на території дослідження таких видів птахів

№	Назва птаха	К-сть особин	Примітка
1.	Gallinula chloropus Курочка водяна	1	Можливе гніздування в локалізованих очеретяних заростях на водоймі v3.
2.	Fulica atra – Лиска	1	Зустрічається протягом всього року. Можливе гніздування в локалізованих очеретяних заростях на водоймі v2-3.
3.	Chlidonias hybrida Крячок білощокий	1	Зальотний вид під час кормових добових переміщень з колоні. Вид знаходиться під охороною Резолюції № 6 Бернської конвенції.
4.	Streptopelia decaocto Горлиця садова	2	Гніздиться на територіях m 1-2.
5.	Apus apus Серпокрилець чорний	10	Вид був зареєстрований на ділянках m 1-3.
6.	Upupa epops – Одуд	1	Щороку гніздиться на території m 1. Щільність виду на території – 1 пара/10 га.
7.	Jynx torquilla – Крутиголовка	1	Гніздиться в дуплах дерев.
8.	Dendrocopos major – Дятел звичайний	2	Гніздиться як в природних дуплах, так і в штучних гніздівлях.
9.	Motacilla alba – Плиска біла	1	Гніздиться у нижній частині.
10.	Oriolus oriolus – Вивільга	1	Вид гніздиться у кронах дерев нижньої та середньої частини.
11.	Sturnus vulgaris – Шпак звичайний	7	Заселяє природні дупла.
12.	Pica pica – Сорока	2	Гніздиться на території обходів m^1-2.
13.	Corvus monedula – Галка	1	Corvus monedula – Галка.
14.	Corvus frugilegus – Грак	9	Використовує територію для годування протягом всього року.
15.	Corvus cornix – Ворона сіра	2	Використовує територію для годування протягом всього року.
16.	Ficedula albicollis	1	Знаходиться під охороною Резолюції № 6 Бернської конвенції.
17.	Turdus philomelos – Дрізд співочий	1	Гнізда утворює в дуплах.
18.	Parus caeruleus – Синиця блакитна	1	Гнізда утворює в дуплах.
19.	Parus major – Синиця велика	5	Гнізда утворює в дуплах та штучних дуплянках.
20.	Passer domesticus – Горобець хатній	9	Щільність виду на території – 15 пар/10 га.

хідно встановити механічні решітки-уловлювачі в районі залізничних мостів. Крім цього, доцільно встановити чіткий графік для комунальних служб з очищення решіток і вивезенню сміття. Такі заходи дозволять не тільки покращити загальний гідрологічний режим річки, але і припинити забруднення полімерним сміттям основного джерела питної води України – води річки Дніпро.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати здійсненого дослідження можуть мати значний вплив на збереження біорізноманіття р. Мокра Московка. Запропоновані заходи дозволять не тільки покращити загальний гідрологічний режим річки, але і припинити забруднення полімерним сміттям основного джерела питної води України – води річки Дніпро.

Література

1. Engel S. Katastrofen-Alarm! Was tun gegen die mutwillige Zerstörung der Einheit von Mensch und Natur? Gelsenkirchen: Verlag Neuer Weg, 2016.
2. Tillman K, Christoph H. Globale Biodiversitätsverluste – es geht um Werte. Jahrbuch Ökologie. 2016. Gesucht: Weltumweltpolitik. Stuttgart: S. Hirzel Verlag, 2016. pp. 29-37.
3. Manes F., Incerti G., Salvatori E., Vitale M., Ricotta C., Costanza R. Urban ecosystem services: tree diversity and stability of tropospheric ozone removal. *Ecological Applications*. 2012. № 22(1). pp. 349–60. doi:10.1890/11-0561.1.
4. Redford K.H., Mace G., Conserving and contesting biodiversity in the Homogocene. *Rethinking Environmentalism: Linking Justice, Sustainability, and Diversity.* Cambridge: MIT Press., 2018. pp. 23–39.
5. Bennett N.J., Roth R., Klain S.C., Chan K., Christie P., Clark D.A., Cullman G., Curran D., Durbini T.J., Epstein G., Greenberg A., Nelson M.P., Sandlos, J., Stedman R., Teel T.L., Thomas R., Veríssimo D., Wyborn C. Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation*. 2017. № 205. pp. 93–108.

6. Гончаренко І. В. Фітоіндикація антропогенного навантаження: монографія. Дніпро: Середняк Т. Київ, 2017. 127 с.
7. Арсан О.М., Давидов О.А., Дьяченко Т.М. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ: ЛОГОС, 2006. 408 с.
8. Домбровський К.О. Методи прогнозування стану гідросфери: навчально-методичний посібник до лабораторних робіт для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Запоріжжя: ЗНУ, 2012. 91 с.
9. Мусієнко М.М., Ольхович О.П. Методи дослідження вищих водних рослин: навч. посібн. до лабораторних занять з фізіології водних рослин для студентів біологічного факультету. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 67 с.
10. Прохоров О.В. Анотований список жуків-златок (Coleoptera: Buprestidae) лісостепової та степової зон України. *Українська ентомофауністика.* 2010. № 1(4). С. 1–72.
11. Гриб Й.В., Володимирець В.О. Еколого-фізіологічні особливості поширення очерету звичайного / Phragmites australis / та заходи із утилізації його фітомаси. *Аграрна наука та харчові технології.* 2016. Вип. 2 (92). С. 191–196.
12. Петроченко В.І. Природа України. Тваринний світ. Земноводні. Плазуни: Біогеографічний атлас. Запоріжжя: ЗОЦТКУМ, 2014. 32 с.
13. Василевський О.Г., Прокопчук В.М., Матусяк М.В. Декоративна дендрологія: навч.-метод. посібн. для студентів агрономічного факультету денної форми навчання напряму підготовки 6.090103 «Лісове та садово-паркове господарство». Вінниця: ВНАУ, 2015. 140 с.
14. Червона книга України. Рослинний світ. Київ: Українська енциклопедія, 1996. 605 с.
15. Фауна України. У 40 т. Т. 8. Риби. Київ: Наук. думка, 1980. Вип. 1-4.
16. Куцоконь Ю., Квач Ю. Українські назви міног і риб фауни України для наукового вжитку. *Біологічні студії.* 2012. Т 6. № 2. С. 199–220.
17. Богомаз Р.В. Систематичний список хребетних тварин о. Хортиця. *Заповідна Хортиця: збірн. праць Національного заповідника «Хортиця»*. Запоріжжя: Дике Поле, 2006. С. 239-246.
18. Петроченко В.І. Тваринний світ Запорізької області. Риби. Земноводні. Плазуни: Атлас. Запоріжжя: ЗОЦТКУМ, 2013. 50 с.
19. Загороднюк І.В. Наукові назви рядів ссавців: від описових до уніфікованих. *Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна.* 2008. Вип. 48. С. 33-43.
20. Мовчан Ю. В. Риби України (Таксономія, номенклатура, зауваження). *Збірник праць Зоологічного музею.* 2008–2009. № 40. С. 47–86.
21. Муленко М.А., Карпенко Г.О., Головаха Р.В. Фауно-екологічний огляд сітчастокрилих (Neuroptera) о. Хортиця: мурашині леви (Myrmeliontidae) та мантиспи (Mantispidae). *Заповідна Хортиця: Збірка наукових праць*. Запоріжжя, 2016. С. 222–224.
22. Офіційні переліки регіонально рідкісних рослин адміністративних територій України / Уклад. докт. біол. наук, проф. Т.Л. Андрієнко, канд. біол. наук М.М. Перегрим. Київ: Альтерпрес, 2012. 148 с.
23. Фауністичний склад личинок волохокрилих водойм верхів´я Каховського водосховища та річки Сіверський Донець. *Сучасні проблеми річки Дніпро.* Нова Каховка, 2004. С. 211–213.
24. Маркевич О. П. Короткий Й. І. Визначник прісноводних риб УРСР. Київ, 1954. 208 с.

УДК 628.54
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.11

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НАКОПИЧУВАЧІВ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД І ШЛАМІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Сталінська І.В., Дмитренко Т.В.
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
stalinskaairina5@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua

У роботі розглянуто питання оцінки основних факторів, що впливають на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях. Виявлено, основні причини забруднення поверхневих вод – скидання забруднених промислових стічних вод (ПСВ), господарсько-побутових вод, надходження до водних об'єктів забрудненого поверхневого стоку з територій населених пунктів, промислових підприємств і сільгоспугідь та ін. Діяльність підприємств окремих галузей промисловості нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які знайшли широке поширення як водоохоронний захід. Доведено, що основними джерелами впливу підприємств на поверхневі водні об'єкти є скиди неочищених і умовно очищених ПСВ. Також негативний вплив чинить надходження фільтратів і поверхневих стоків з територій накопичувачів ПСВ і шламів. Зазначено, що внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень, до поверхневих вод потрапляють нафтопродукти та важкі метали. З'ясовано, що екологічний стан окремих басейнів річок на цей час фактично катастрофічний, зокрема, це стосується і басейну р. Дніпро у зв'язку з підривом дамби Каховської ГЕС у Херсонській області у червні 2023 р., тому розробка заходів щодо зниження рівня забруднення річок на цей час є актуальним завданням. У роботі наведено залежності концентрації важких металів у воді від pH. Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод для підприємств машинобудівної галузі, електротехнічної промисловості та ін., які переважно розташовані на урбанізованих територіях і, як правило, скидають стічні води у господарсько-побутову каналізацію. Запропоновані основні рекомендації щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів. *Ключові слова:* екологічний стан, екологічний ризик, поверхневі водні об'єкти, забруднення, захист водного басейну, очищення стічних вод, важкі метали, утилізація шламів, урбанізовані території.

Recommendations for reducing the environmental risk of industrial wastewater and sludge storage facilities on the ecological state of surface water bodies in urbanized areas. Stalinska I., Dmytrenko T.

The paper considers the issue of assessing the main factors affecting the ecological state of surface water bodies in urbanized areas. The main causes of surface water pollution are the discharge of contaminated industrial wastewater (IWW), domestic water, and contaminated surface runoff from settlements, industrial enterprises, and agricultural land, etc. The activities of enterprises in certain industries are inextricably linked to the operation of wastewater storage facilities, which are widely used as a water protection measure. The main sources of impact of enterprises on surface water bodies are discharges of untreated and conditionally treated industrial wastewater. Another negative impact is caused by leachate and surface runoff from industrial wastewater and sludge storage areas. It is noted that as a result of military operations and man-made pollution caused by them, oil products and heavy metals get into surface waters. The ecological condition of some river basins is currently catastrophic, including the Dnipro River basin due to the undermining of the Kakhovka hydroelectric power plant dam in Kherson Oblast in June 2023, so developing measures to reduce river pollution is a very urgent task at this time. The paper presents the dependence of the concentration of heavy metals in water on pH. The data obtained can be used in the development of technical solutions for wastewater treatment for enterprises in the machine-building industry, electrical industry, etc., which are mainly located in urbanized areas and usually discharge wastewater into domestic sewage. The main recommendations for the protection and rational use of water resources are proposed. *Key words:* environmental state, environmental risk, surface water bodies, pollution, water basin protection, wastewater treatment, heavy metals, sludge disposal, urbanized areas.

Постановка проблеми. Однією з глобальних екологічних проблем сучасності є забруднення поверхневих водних об'єктів. Рівень забруднення води таких річок, як Дунай, Рейн, Ельба та багатьох інших, дав підставу називати їх «стічними канавами Європи». У березні 1992 р. під егідою Європейської економічної комісії ООН у м. Гельсінкі (Фінляндія) було ухвалено «Конвенцію про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» [1].

Конвенція слугує механізмом посилення національних заходів і міжнародного співробітництва, спрямованих на досягнення екологічно обґрунтованого управління та охорони транскордонних поверхневих і підземних вод. До неї входять законодавчі норми покарання та заохочення підприємств, що скидають у річки промислові стічні води й шлами.

У цьому напрямку було розроблено нові технології скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів із накопичувачів ПСВ і шламів у водний басейн. Одним з ефективних спо-

собів запобігання інфільтрації ПСВ і шламів є влаштування захисних протифільтраційних екранів із полімерних плівок (рис. 1) [1].

Для виконання положення «Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» докладено чимало зусиль зі створення і зміцнення транскордонного водного співробітництва. Закон про приєднання України до Конвенції був ухвалений 1 червня 1999 р. Верховною Радою України й набув чинності 23 червня 1999 р.

Результати досліджень стану поверхневих водних об'єктів України показали, що екологічний стан басейнів окремих річок катастрофічний, зокрема, це стосується і стану найбільшого річкового басейну – басейну р. Дніпро.

Таким чином, на цей час актуальними є проблеми, аналогічні тим, які розв'язували в промислово розвинених країнах Європи для покращення екологічного стану поверхневих водних об'єктів.

Актуальність дослідження. За даними багаторічних досліджень виявлено, що якість води в річках України погіршується: виявлено перевищення вмісту фармпрепаратів, отрутохімікатів, які використовуються у сільському господарстві, біогенних елементів, ряду важких металів та ін. Однією з основних причин масового мору риби є цвітіння води. Існує також проблема обміління річок.

Одними з основних забруднювачів водних ресурсів є металургійна, хімічна, гірничодобувна промисловість, а також житлово-комунальне та сільське господарство.

Окремо слід розглянути ситуацію, що склалася після підриву дамби Каховської ГЕС у Херсонській області, що сталася у червні 2023 р., та призвела до найбільшої техногенної катастрофи останніх десятиліть, катастрофічного забруднення водних ресурсів і поставила під загрозу десятки тисяч жителів.

Держкомпанія «Укргідроенерго» проводить дослідження, яким чином неконтрольований витік води з водосховища позначиться на стані всього Дніпровського каскаду. У зв'язку із затопленням вигрібних ям, сміттєзвалищ, кладовищ можливе бактеріальне забруднення води річки. Вода забруднюється забруднюючими речовинами з промислових підприємств, відбувається змішування зі стічними водами, тому ризики забруднення водних ресурсів можуть збільшуватись в десятки разів, що потребує негайного вирішення.

За даними Міністра охорони здоров'я України Віктора Ляшка, рівень забруднення води у р. Дніпро унаслідок підриву греблі Каховської ГЕС *за* деякими *показниками перевищено* у *28 тисяч разів* – вся акваторія нижче Каховської дамби «непридатна для використання». Проблема погіршення екологічного стану річки та її оздоровлення потребує негайного вирішення.

Так, екологічний стан окремих басейнів річок на цей час фактично катастрофічний, тому розробка заходів щодо зниження рівня забруднення річок на цей час є актуальним завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, що викладені, зокрема, у Водному Кодексі України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) [2], Правилах охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами (Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465) [3], Загальнодержавній цільовій *програмі* розвитку водного господарства та екологічного *оздоровлення басейну річки Дніпро* на період із 2013–2021 рр. (Відомості Верховної Ради України, 2013, № 17, ст. 146) [4], Директиві

Рис. 1. Сучасні методи запобігання надходженню стоків із накопичувачів промислових стічних вод

ЄС 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 р. [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення поверхневих вод токсичними металами в результаті антропогенних процесів викликає велике занепокоєння в усьому світі. Внаслідок недосконалого технічного рівня обладнання та використання застарілих, недостатньо ефективних технологій, що не відповідають екологічним вимогам на підприємствах України, дуже велика кількість промислових забруднень потрапляє до поверхневих водойм, у тому числі токсичні сполуки важких металів (свинець, нікель, залізо, мідь, кадмій, марганець, кобальт, цинк та ін.). Наприклад, свинець може потрапити у річкові води внаслідок спалювання вугілля, зі стічними водами металургійної та хімічної промисловості, кобальт і марганець – зі стічними водами марганцевих фабрик та металургійних заводів тощо.

Дослідники в усьому світі зосереджують свою увагу на кількісному дослідженні вмісту важких металів у водних екосистемах [6]. Крім виявлення та кількісного аналізу вмісту забруднень у водних об'єктах і ґрунтах, проводиться оцінка несприятливих ризиків для здоров'я людини [7]. Слід зазначити, що найбільші рівні забруднення і, як наслідок, загроза для здоров'я населення, відзначаються на урбанізованих територіях, в промислових зонах зі значною антропогенною діяльністю [8].

Для оцінки вмісту забруднюючих речовин у поверхневих водних об'єктах, зокрема й важких металів, запропоновано різні методики та показники. Дедалі частіше використовують комбіновані індикатори (Composite indicators, CIs) для вимірювання та відстеження екологічних систем [9]. Однак вони піддаються критиці за їхній часто довільний характер і за те, що не враховують невизначеності.

Для визначення загального стану якості необроблених та очищених стічних вод запропоновано індекс якості стічних вод – Wastewater Quality Index (WWQI) [10], який підсумовує велику кількість виміряних параметрів якості в єдиний показник якості води, враховуючи попередньо встановлені стандарти обмеження якості.

Зроблено спробу створити показник глобальних параметрів очищення стічних вод для оцінки екологічних чинників і сталого розвитку на основі статистики очищення стічних вод для більше ніж 180 країн [11]. Однак відсутність послідовних визначень, протоколів звітності та централізованої бази даних про очищення стічних вод є основною причиною багатьох проблем під час побудови порівняльних показників ефективності.

Накопичення важких металів у річкових відкладеннях унаслідок забруднення поверхневих вод може бути оцінено з використанням індексу металу (metal index, MPI) та індексу забруднення металами (metal pollution index, HPI) [12].

Встановлено, що саме недостатнє очищення, безперервне скидання ПСВ та фільтрату їхніх шламів є значним чинником негативного впливу на навколишнє природне середовище та накопичення у водних об'єктах токсичних домішок. Відзначено значний вплив стоків шкіряних підприємств, фарбувально-хімічної, металообробної галузей промисловості та ін. [13].

Розуміння джерел і характеру поведінки важких металів у басейнах річок має вирішальне значення для оцінки екологічних ризиків, пов'язаних із впливом на людину та екосистеми. Для оцінки просторового розподілу полютантів у відкладеннях річок може бути використаний індекс накопичення (geo-accumulation index, Igeo). Таким чином, наприклад, було проведено оцінку забруднення річок Південного Китаю і досліджено негативний вплив скидання ПСВ і хвостосховища металургійного підприємства [14].

В Україні проблеми еколого-економічної оцінки наслідків розміщення накопичувачів неочищених ПСВ та шламів виникли лише в останні десятиліття. У зв'язку з цим реально апробовані методики такої оцінки відсутні. На сьогодні більшість накопичувачів ПСВ, розташованих на території України мають високий ступінь зносу та практично повне вичерпання місткості накопичувачів, що є головними причинами утворення надлишку високотоксичних стічних вод, а також аварійних ситуацій, які створюють екологічні ризики для довкілля і людини [15].

Мета дослідження. Проаналізувати екологічний ризик накопичувачів ПСВ і шламів для поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях та запропонувати рекомендації щодо зниження негативного впливу об'єктів промисловості, комунального та сільського господарства на водні басейни.

Викладення основного матеріалу. Доступні для широкого використання водні ресурси формуються, в основному, в басейнах Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця, Південного і Західного Бугу, а також малих річок Приазов'я та Причорномор'я [16]. Відомо, що більша частина зарегульованого стоку в Україні припадає на Дніпровський каскад водосховищ загальним об'ємом 43,8 км^3 і корисним об'ємом 18,5 км^3.

За даними [16] у 2021 р. спостереження за станом поверхневих вод здійснювались у 558 пунктах моніторингу на масивах поверхневих вод на транскордонних ділянках 55 водотоків відповідно до міжурядових угод, на масивах поверхневих вод, забір з яких здійснюється для задоволення питних та господарсько-питних потреб населення та на масивах поверхневих вод, де є ризик недосягнення екологічних цілей.

Аналіз якісного стану поверхневих вод за результатами моніторингу в системі Держводагентства за 2021 р. у розрізі гідрографічного районування наве-

дено у [16]. Згідно із результатами проведених вимірювань визначено якісний стан масивів поверхневих вод басейнів річок Дніпро, Дністер, Дон, Дунай, Вісла, Південний Буг, річок Причорномор'я та річок Приазов'я.

За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування у 2021 р. у поверхневі водні об'єкти скинуто 4684,6 млн м^3 ПСВ, у тому числі: забруднених – 541,5 млн м^3 (11,6%), без очищення – 119,3 млн м^3, недостатньо очищених – 422,2 млн м^3, нормативно очищених – 1430 млн м^3 (30,5%) та нормативно-чистих без очистки – 2712,9 млн м^3 (57,9%) [16].

Основні причини забруднення поверхневих вод – це скидання забруднених ПСВ, господарсько-побутових вод, яке може здійснюватись безпосередньо у водні об'єкти, а також через систему міської каналізації, надходження до водних об'єктів забрудненого поверхневого стоку з територій населених пунктів, промислових підприємств та сільгоспугідь та ін.

Діяльність багатьох підприємств хімічної, гірничодобувної, металургійної та вугільної галузей промисловості нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які знайшли широке поширення як водоохоронний захід. На території України налічується 366 накопичувачів забруднених стічних вод, з них близько 300 містять в розчиненому вигляді забруднюючі речовини з концентраціями, що перевищують встановлені екологічні нормативи (ГДК) більш ніж в 50 разів. Тому вони належать до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, що здатні викликати екстремально високе забруднення природних водних об'єктів. Ступінь і масштаб забруднення залежить від режимів скидання, кількості та концентрації забруднюючих речовин, що надходять при цьому у поверхневі води [15].

Важливим напрямом у дослідженні процесів скорочення негативного впливу накопичувачів ПСВ є вивчення шляхів міграції в ґрунті фільтратів із розчинними сполуками важких металів [1].

В результаті аналізу існуючих накопичувачів за відомчою приналежністю встановлено, що найбільша кількість накопичувачів з невеликими місткостями використовується в сільському господарстві, а найбільш об'ємні (що досягають понад 500 млн м^3) належать до теплової енергетики й чорної металургії. Сумарний обсяг накопичувачів становить 3129,2 млн м^3, з них близько 46% припадає на накопичувачі Криворізького, Запорізького, Полтавського та ін. гірничо-збагачувальних комбінатів [17].

На рис. 2 наведено принципову схему надходження до поверхневих і ґрунтових вод та ґрунту іонів важких металів і вміст їх у ґрунті біля накопичувача ПСВ [1].

Основними джерелами впливу підприємств на водний басейн є скиди неочищених і умовно очищених ПСВ. Також негативний вплив чинить надходження фільтратів і поверхневих стоків з території накопичувачів ПСВ і шламів. Значним може бути осадження твердої фази організованих і неорганізованих пилогазових викидів у поверхневі водні об'єкти [1].

Необхідно зазначити, що внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень, до поверхневих вод попадають нафтопродукти та важкі

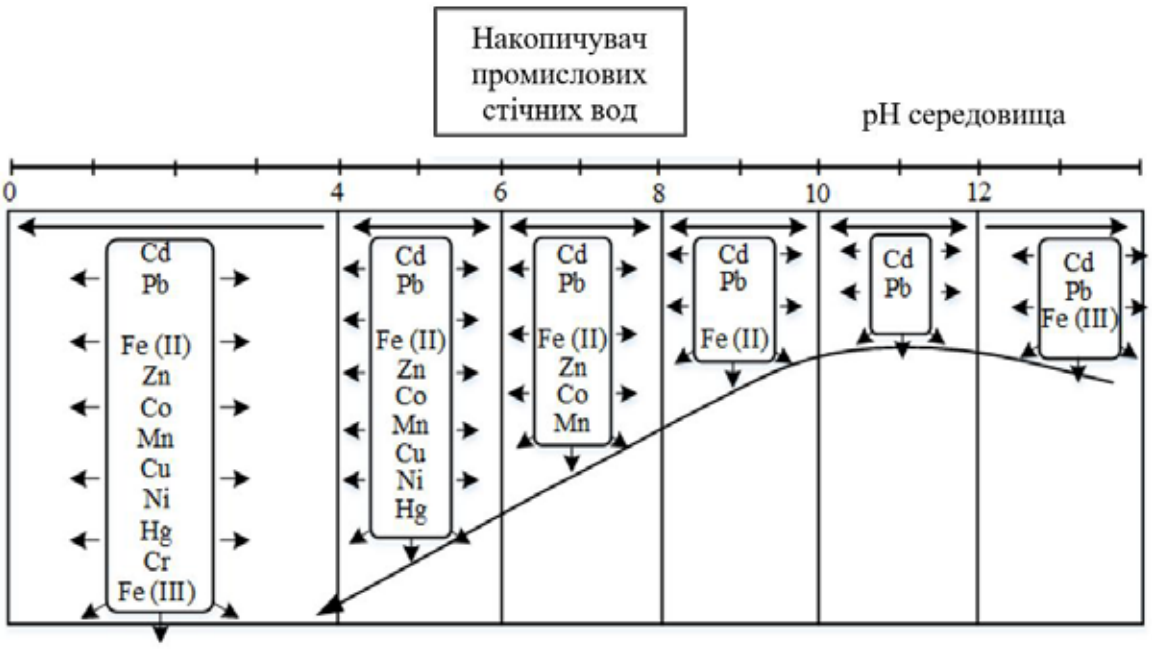


Рис. 2. Схема надходження в поверхневі та ґрунтові води іонів важких металів із ПСВ і шламів

метали, адже боєприпаси й військова техніка містять свинець, ртуть, миш'як, гексоген, тротил і під час їхнього розкладання у воду виділяється токсичний коктейль, який загрожує водній екосистемі.

У зв'язку з підривом дамби у червні 2023 р. ситуація у Дніпрі ще більш погіршилася. Як зазначено вище, за даними Міністра охорони здоров'я України Віктора Ляшка, рівень забруднення води у р. Дніпро за деякими показниками перевищено у 28 тисяч разів – вся акваторія нижче Каховської дамби «непридатна для використання», проблема погіршення екологічного стану річки потребує негайного вирішення.

Для видалення важких металів зі стічних вод у світовій практиці можуть бути використані різні технології обробки води, наприклад, коагуляція, флотація, хімічне осадження, іонний обмін та ін.

Методи очищення стічних вод від важких металів широко відомі. Як правило, на першому етапі очищення стічні води підлужують, щоб висадити метали у вигляді гідроксидів. Нами проведено розрахунки, які дали змогу встановити можливий мінімальний вміст важких металів залежно від pH.

Для визначення мінімально можливої концентрації тривалентних важких металів отримано наступну залежність:

$$\left[Me^{3+}\right] = S_{Me(OH)_3}\left(\frac{1}{f_3 \cdot a_{OH}^3} + \frac{k_1}{f_2 \cdot a_{OH}^2} + \frac{k_{1,2}}{f_1 \cdot a_{OH}} + k_{1,2,3} + \frac{k_{1,2,3,4} \cdot a_{OH}}{f_1}\right), \quad (1)$$

де $S_{Me(OH)_3}$ – добуток розчинності гідроксиду металу;

k_1 и $k_{1,2}$ – константи стійкості комплексів $Me(OH)^{2+}$ і $Me(OH)_2^+$;

$k_{1,2,3}$ и $k_{1,2,3,4}$ – константи стійкості комплексів $Me(OH)_3$ і $Me(OH)_4^-$, якщо такі існують;

a_{OH} – коефіцієнт активності іонів OH^-.

Для визначення мінімально можливої концентрації двовалентних важких металів отримано наступну залежність:

$$\left[Me^{2+}\right] = S_{Me(OH)_2}\left(\frac{1}{f_2 \cdot a_{OH}^2} + \frac{K_1}{f_1 \cdot a_{OH}} + k_{1,2} + \frac{K_{1,2,3} \cdot a_{OH}}{f_1} + \frac{K_{1,2,3,4} \cdot a_{OH}^2}{f_2}\right), \quad (2)$$

де $S_{Me(OH)_2}$ – добуток розчинності гідроксиду металу;

k_1 – константа стійкості комплексу $Me(OH)^+$;

$k_{1,2}$ – константа стійкості комплексу $Me(OH)_2$;

$k_{1,2,3}$ и $k_{1,2,3,4}$ – константи стійкості комплексів $Me(OH)_3^-$ і $Me(OH)_4^{2-}$, якщо такі існують.

З огляду на вищенаведені формули нами побудовано графіки залежності концентрації важких металів від pH (рис. 3–7). За їхньою допомогою можна встановити, до яких значень слід підвищити водневий показник, щоб знизити концентрацію того чи іншого металу до заданої (допустимої) величини.

Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод травильних та гальванічних цехів та відділень підприємств машинобудування, електротехнічної промисловості та ін., які переважно розташовані в межах міста і, як правило, скидають свої стічні води у господарсько-побутову каналізацію.

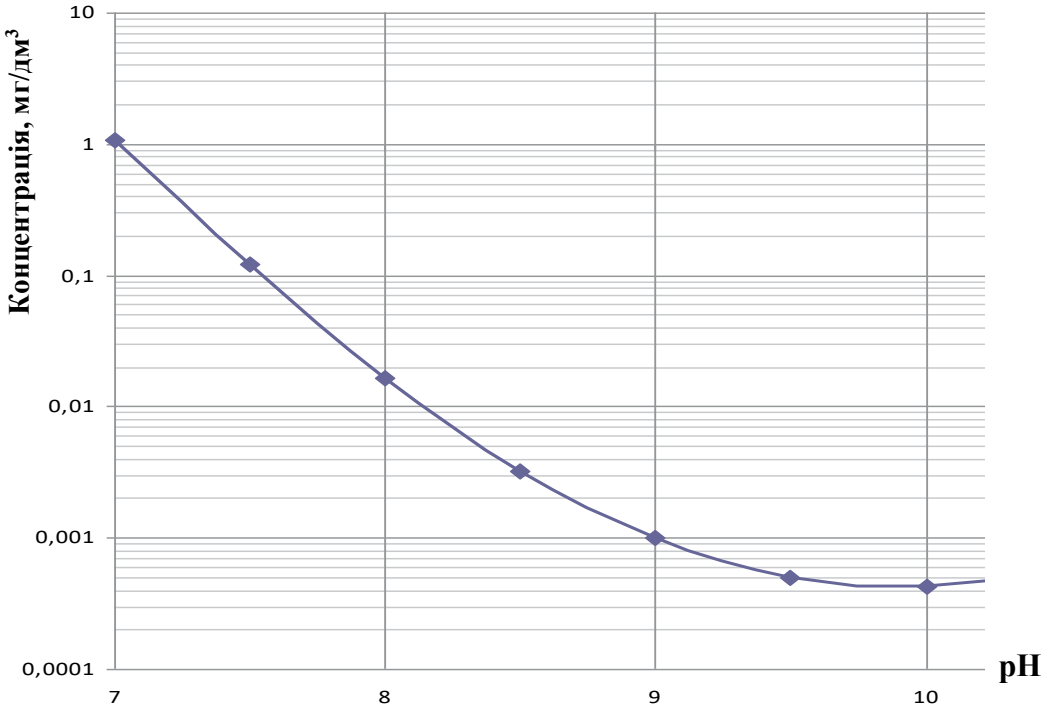


Рис. 3. Зміна концентрації міді у стоках залежно від pH

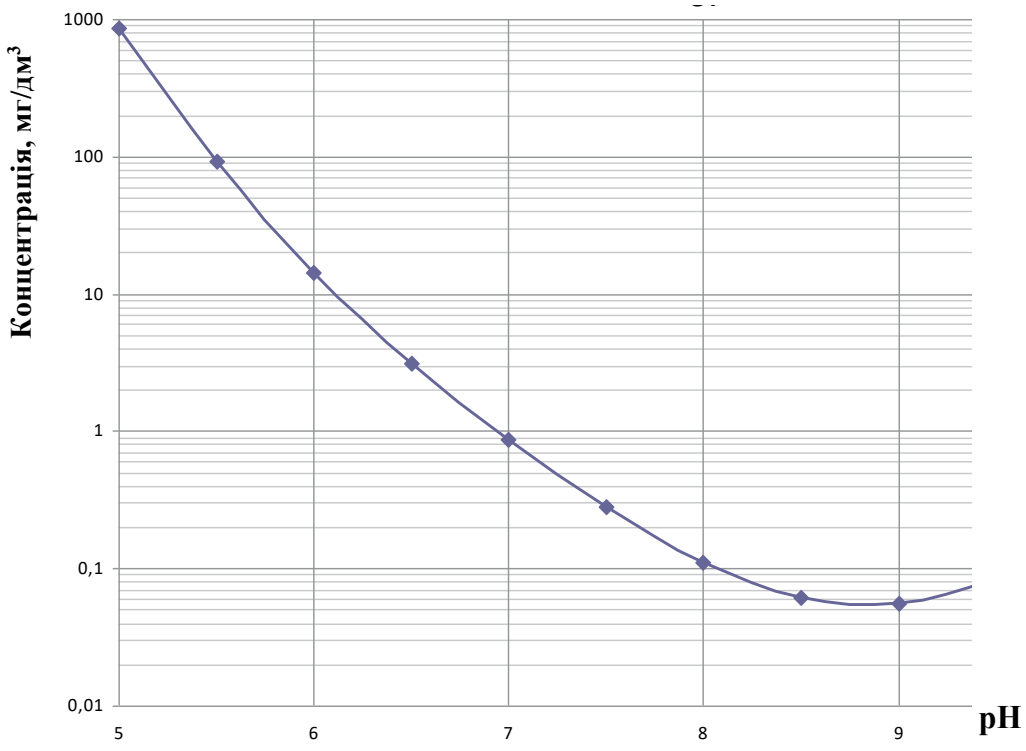


Рис. 4. Зміна концентрації тривалентного хрому у стоках залежно від pH

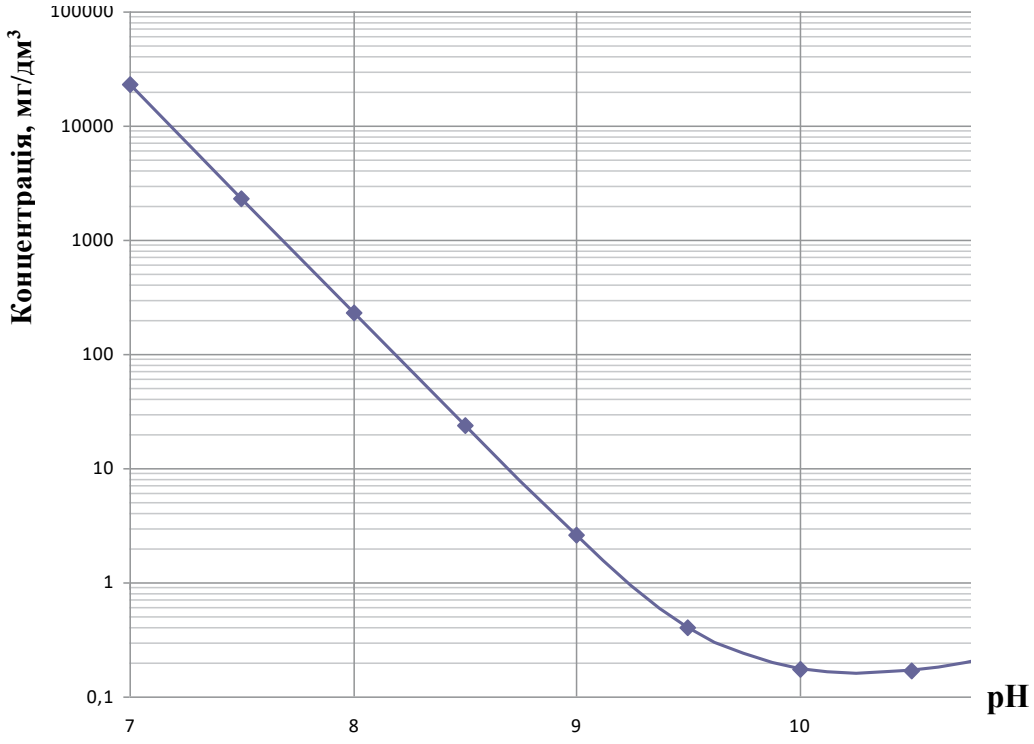


Рис. 5. Зміна концентрації нікелю у стоках залежно від pH

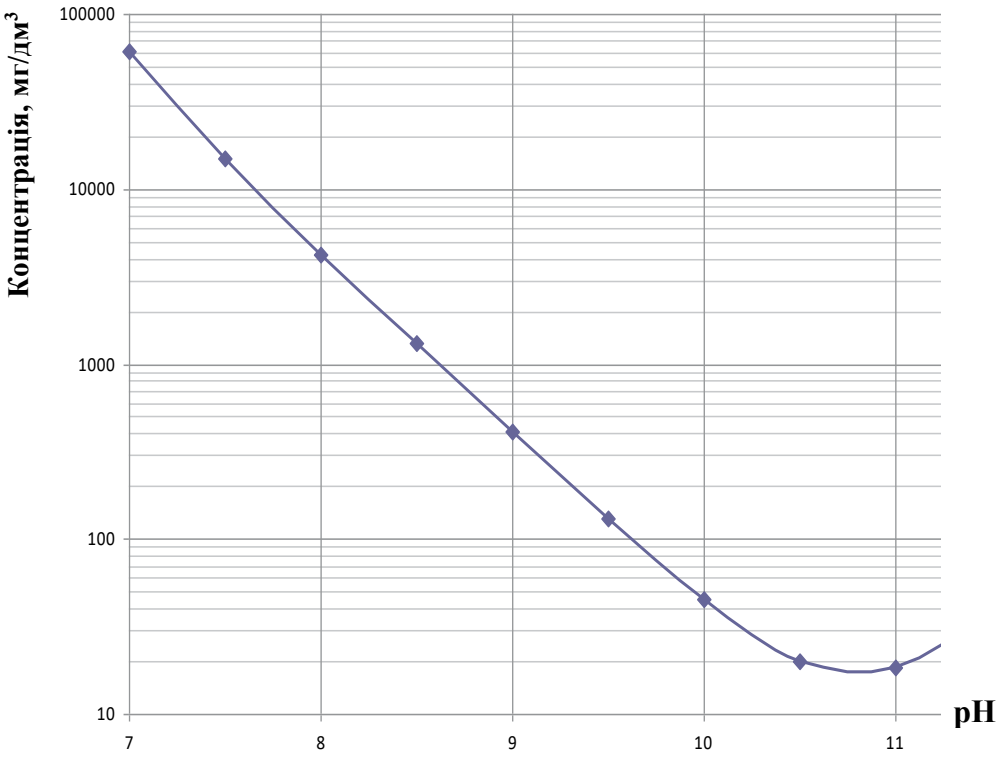


Рис. 6. Зміна концентрації нікелю у стоках залежно від pH

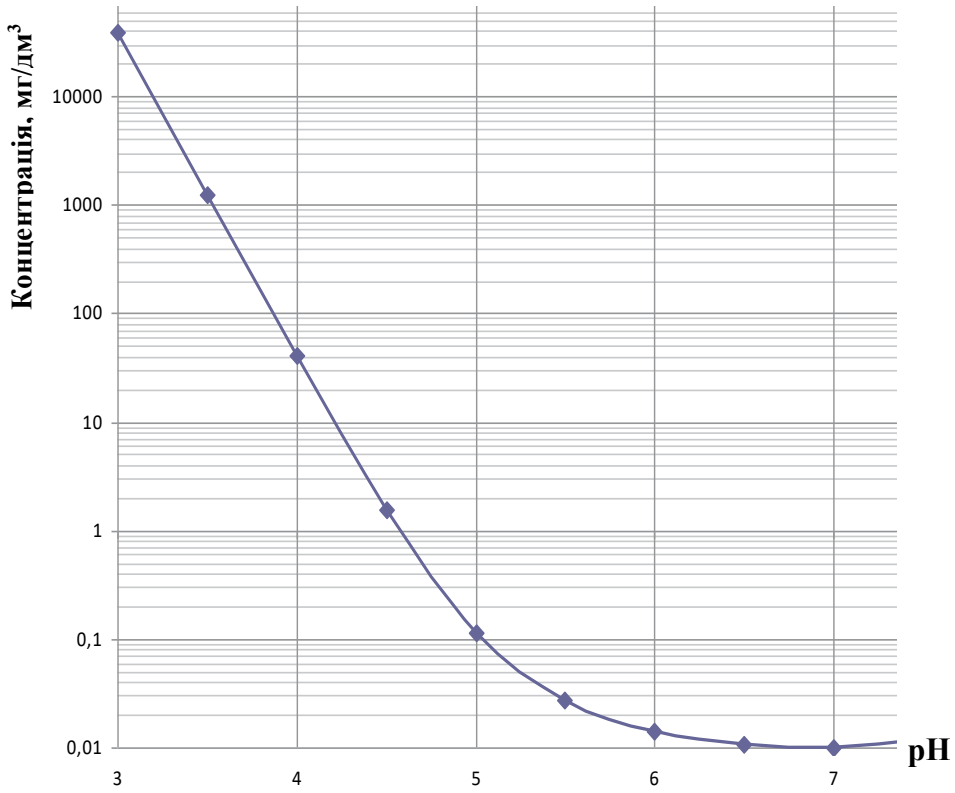


Рис. 7. Зміна концентрації алюмінію у стоках залежно від pH

В якості основних рекомендацій щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів запропоновані наступні:

– забезпечити функціонування всіх очисних споруд для попередження скиду неочищених стоків;

– налагодити повноцінний екологічний моніторинг басейнів річок;

– налагодити систему штрафів за забруднення водойм. Особливо це стосується великих підприємств, які сьогодні є головними забруднювачами водних ресурсів;

– впроваджувати нові технології скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів із накопичувачів промислових стічних вод і шламів у водний басейн;

– припинити незаконні будівництва навколо водних об'єктів та забезпечити там оптимальне поєднання лісових насаджень та лук;

– на законодавчому рівні заборонити використання фосфатів в товарах побутової хімії, які масово потрапляють до річок;

– створити плавучі острови з рослин та водоростей (біоплато), які добре поглинають забруднюючі речовини з води;

– розробити стратегію відновлення річок країни після війни.

Головні висновки. Результати досліджень стану поверхневих водних об'єктів України показали, що екологічний стан басейнів окремих річок катастрофічний. Основними забруднювачами водних ресурсів є металургійна, хімічна, гірничодобувна промисловість, а також житлово-комунальне та сільське господарство. Діяльність цих підприємств нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які належать до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, і здатні викликати екстремально високе забруднення природних водних об'єктів, зокрема важкими металами. До того ж важкі метали та нафтопродукти потрапляють до поверхневих вод внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень.

Для зменшення екологічного ризику накопичувачів ПСВ вивчено шляхи міграції в ґрунті фільтратів із розчинними сполуками важких металів, наведено принципову схему надходження до поверхневих і ґрунтових вод та ґрунту іонів важких металів. Проведено розрахунки, які дали змогу встановити можливий мінімальний вміст важких металів залежно від pH та побудовано графіки залежності концентрації важких металів від pH. За їхньою допомогою можна встановити, до яких значень слід підвищити водневий показник, щоб знизити концентрацію того чи іншого металу до заданої (допустимої) величини. Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення ПСВ.

Запропоновані основні рекомендації щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень можуть бути корисними для прогнозу наслідків впливу на навколишнє природне середовище з боку накопичувачів ПСВ, хвостосховищ і відвалів великотоннажних відходів, а також при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод окремих промислових виробництв, розташованих на урбанізованих територіях.

Література

1. Kasimov A., Stalinska I., Sorokina K. Assessment of the pollution degree of the Dnepr river and development of measures for its decrease. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2017. № 3(10). P. 41–49.
2. Водний Кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189.
3. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами : Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 р. № 465. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 13. Ст. 518.
4. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну ріки Дніпро на період до 2021 року. *Відомості Верховної Ради України.* 2013. № 17. Ст. 146.
5. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року [Directive 2000/60/EU of the European Parliament and of the Council «On establishing the framework for Community activities in the field of water policy» dated October 23, 2000]. *Офіційний вісник Європейського Союзу.* 2000. L0060.
6. Farkas, A., Erratico C., Vigano, L. (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River. *Chemosphere J.* 2007. № 68. P. 761–768.
7. Saleem M., Iqbal J., Shah M.H. Dissolved Concentrations, Sources, and Risk Evaluation of Selected Metals in Surface Water from Mangla Lake, Pakistan. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. 12 p.
8. Kumar, M., Ramanathan, AL., Tripathi, R., Farswan, S., Kumar, D., Bhattacharyac, P. (2017). A study of trace element contamination using multivariate statistical techniques and health risk assessment in groundwater of Chhaprola Industrial Area, Gautam Buddha Nagar, Uttar Pradesh, India. *Chemosphere*. 2017. Vol. 166. P. 135–145.
9. Burgassa, M. J., Halperna, B. S., Nicholsone, E., Milner-Gullandb, E. J. (2017). *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 75. P. 268–278.
10. Ebrahimi, M., Gerberb, E. L., Rockawaya, T. D. (2017). Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, Vol. 193. P. 234–246.
11. Malik, O. A., Hsu, A., Johnson, L. A., de Sherbinin, A. (2015). A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs). *Environmental Science & Policy*. Vol. 48. P. 172–185.

12. Ogunkunle, C. O., Mustapha, K., Oyedeji, S., Fatoba, P. O. (2016). Assessment of metallic pollution status of surface water and aquatic macrophytes of earthen dams in Ilorin, north-central of Nigeria as indicators of environmental health. *Journal of King Saud University – Science*. Vol. 28, Issue 4. P. 324–331.
13. Islam, S., Islam, S., Habibullah-AL-mamun, Islam, S. A., Wayne Eaton, D. (2016). Total and dissolved metals in the industrial wastewater: A case study from Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. Vol. 5. P. 74–80.
14. Liao, J., Chen, J., Ru, X., Chen, J., Wu, H., Wei, C. (2017). Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 176. P. 9–19.
15. Bratina, B., Šorgo, A., Kramberger, J., Ajdnik, U., Fras Zemljič, L., Ekart, J., Šafarič, R. (2016). From municipal/industrial wastewater sludge and FOG to fertilizer: A proposal for economic sustainable sludge management. *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 183, Part 3. P. 1009–1025.
16. Полозенцева В. О. Комплексна оцінка впливу та підвищення екологічної безпеки скидання стічних вод із водойм-накопичувачів: дис. канд. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2021, 257 с.
17. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022. 514 с.
18. Ніколаєва І. О. Екологічний аудит промислових хвостосховищ із застосуванням контрольних списків як передумова підвищення їх екологічної безпеки: дис. канд. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2017. 204 с.

УДК 504.4.054
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.12

НОВІ ЕКОЛОГІЧНО ОБҐРУНТОВАНІ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОЗАБОРІВ ДЛЯ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ХАРКОВА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИРОДНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИСТКИ ВОДИ

Яковлєв В.В.[1], **Дмитренко Т.В.**[1], **Ліщина В.Д.**[2]
[1]Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків
[2]Товариство з обмеженою відповідальністю «Лабораторія якості води «ПЛАЯ»»
вул. Георгіївська, 10, 61000, м. Харків
yakovlev030157@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua, vlishcina@gmail.com

Відомо, що міста з населенням більше кількох сотень тисяч осіб мають таку територіальну концентрацію водоспоживання, що підземні джерела будь-якої потужності не можуть забезпечити всіх потреб комунального сектору й промисловості. Місто Харків з населенням близько 1,5 млн осіб має великі запаси підземних вод високої питної якості, але дебіт підземних родовищ може забезпечити лише третину потреби міста упродовж 25 років, а далі цей ресурс виснажується. У зв'язку з повсюдним забрудненням поверхневих вод, якість питної води, навіть при наявності систем водопідготовки, систематично не відповідає діючим нормативам. Для забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою обґрунтована доцільність спорудження променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод. Запропоновані схеми розташування водозабірних споруд у межах акваторії Печенізького водосховища, яке призначене для забезпечення водопостачання Харкова. Показані принципові устрої горизонтального і променевого водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод Печенізького водосховища. З використанням відомих залежностей виконано розрахунок просторових параметрів водозаборів, призначених для покриття господарсько-побутових і технічних потреб міста. Розглянуті переваги запропонованої системи водопостачання з використанням променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад при вирішенні проблеми забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою на стадії техніко-економічного обґрунтування.
Ключові слова: якість води, горизонтальний водозабір, променевий водозабір, підземні води, централізоване водопостачання, місто Харків, Печенізьке водосховище.

Newly designed environmentally sound water intake structures for the centralized water supply system in Kharkiv taking into account self-purification processes. Yakovlev V., Dmytrenko T., Lishchina V.

It is known that cities with a population of more than several hundred thousand people have such a territorial concentration of water consumption that underground sources of any capacity cannot provide for all the needs of the municipal sector and industry. The city of Kharkiv, with a population of about 1,5 million people, has extensive reserves of groundwater of high drinking quality, but water output from underground aquifers can only provide a third of the city's needs for 25 years, and then this resource is depleted. Due to widespread pollution of surface water, the quality of drinking water, even with water treatment systems in place, systematically fails to satisfy current standards. In order to provide the city of Kharkiv with domestic and technical water, the expediency of constructing radial and horizontal groundwater intakes with replenishment from surface water was substantiated. Schemes for the location of water intake structures within the water area of the Pechenizky reservoir, which is intended to provide water supply to Kharkiv, were proposed. The principle arrangements of horizontal and radial groundwater intakes with recharge from the surface waters of the Pechenizke reservoir were presented. Using the known dependencies, the spatial parameters of water intakes intended to cover the city's domestic and technical needs was estimated. The advantages of the proposed water supply system using radial and horizontal groundwater intakes were considered. The results of the research can be used by executive authorities and united territorial communities in solving the problem of providing the city of Kharkiv with domestic and technical water at the stage of feasibility study. *Key words:* water quality, horizontal water intake, radial water intake, groundwater, centralized water supply, the city of Kharkiv, Pechenizke reservoir.

Постановка проблеми. Світова практика водопостачання 20-го століття показала, що міста з населенням більше кількох сотень тисяч осіб мають таку територіальну концентрацію водоспоживання, що підземні джерела будь-якої потужності не можуть забезпечити всіх потреб комунальної сфери й промисловості [1]. Наприклад, місто Харків з населенням близько 1,5 млн осіб, порівняно з іншими містами, має великі запаси підземних вод високої питної якості, але, за розрахунками спеціалістів, дебіт підземних родовищ може забезпечити лише третину потреби міста упродовж 25 років, а далі цей ресурс виснажується. Зростання чисельності населення, і, особливо, міського, у 70-ті роки минулого століття привело до збільшення використання річкових вод. Водночас, у зв'язку з повсюдним забрудненням поверхневих вод [2–6], якість питної води, навіть при наявності систем водопідготовки, систематично не відповідає діючим нормативам. Проблема полягає не тільки в тому, що потрібна вода з більш захищеного джерела, наприклад, із підземних вод, а й в тому, що джерелом забруднення є і сама водо-

провідна мережа. Роботу присвячено обґрунтуванню доцільності спорудження променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод для забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою.

Актуальність дослідження. У м. Харкові з 90-х років минулого століття тільки з переліку обов'язкових показників якості питних вод сім показників не відповідали діючим нормативам. Так, були розроблені спеціальні (більш м'які) тимчасові нормативи, що було не вирішенням проблеми, а суто формально виходом із неї.

Логічним вирішенням проблеми є розділення систем питного і непитного водопостачання, як це вже достатньо давно реалізовано у ряді розвинутих країн. Не торкаючись технічної й економічної сторін відокремлених систем питного водопостачання, звернемося до питання необхідної кількості води питної якості. Важливим є те, що суто питної води – для пиття і приготування їжі потрібно насправді не так багато – 2,5–11,5 літра на людину в залежності від кліматичних умов і умов праці [7]. Вся інша вода для господарських цілей має бути бактеріально безпечною – це вода, в тому числі для купання, туалету, прання, прибирання осель. Для цих потреб підготовлена вода з традиційного водопроводу, в принципі, є придатною.

Для харківського водопроводу, джерелами води для якого є річкова вода Сіверського Дінця і Дніпра, окрім боротьби з бактеріальним забрудненням, проблемами є висока каламутність води у період весняної повені, наявність високого вмісту водоростей у період їх цвітіння і несприятливе збільшення температури у літній період. Це ускладнює роботу очисних споруд і примушує застосовувати хлорування, що призводить до вторинного забруднення води хлорорганічними речовинами. На цей час обґрунтування практично придатних і ефективних способів вирішення зазначених проблем є актуальним завданням.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, зокрема, Водному Кодексу України [8], Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.) [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над вирішенням питань, пов'язаних із проблемами водопостачання м. Харків, у різні роки працювали відомі вчені, фахівці й інженери, зокрема, Д.Д. Тіц, М.Г. Малишевський, В.А. Петросов, І.В. Корінько, С.М. Епоян, Душкін С.С., Агаджанов Ґ.К. та ін.

Потреба комунального господарства і промисловості м. Харкова у воді у різні періоди історії міста змінювалася. За даними Державного агентства водних ресурсів України, наприклад, у 2019 р. **загальна цифра водокористування по Харкову становила близько** 157 млн м^3, із неї на потреби промисловості – 3,9 млн м^3 води, а **комунальне господарство забирало** майже 152 млн м^3 води. Як зазначено вище, це перевищує наявні в районі міста ресурси підземних вод, але повністю покривається ресурсами поверхневих вод р. Сіверський Донець. При накопиченні води у Печенізькому водосховищі об'ємом 383 млн м^3, яке розташоване вище місця міського водозабору, це дозволяє гарантувати постійний відбір води у потрібній кількості незалежно від сезонів. Упродовж останніх десятиліть об'єм використання води у Харкові з об'єктивних причин зменшувався. Головним чином, це було пов'язано із запровадженням приладів обліку відбору води, зниженням потужностей промисловості та збільшенням тарифів на водопостачання. На перспективу можна прогнозувати, що неминуче подорожчання водних ресурсів буде стримувати зростання потреби у воді, навіть при збільшенні населення Харкова і зростанні виробничих потужностей.

Таким чином, поверхневий стік р. Сіверський Донець кількісно покриває потреби Харкова. Вирішити питання періодичного зниження якості річкової води, пов'язане із завислими речовинами, цвітінням і бактеріальним забрудненням, можна за допомогою відповідних очисних споруд, але світовий досвід свідчить про наявність більш ефективного способу, не пов'язаного з великими поточними витратами на спеціальних очисних спорудах.

Матеріали та методика дослідження. Методика роботи базувалась на аналізі літературних даних про особливості й можливості застосування променевих і горизонтальних водозаборів для крупного централізованого водопостачання. Щодо гідрогеологічних умов долини р. Сіверський Донець, з використанням відомих залежностей виконувався розрахунок просторових параметрів водозаборів, призначених для покриття господарсько-побутових і технічних потреб міста. Розглянуті переваги запропонованої системи водопостачання для умов Харкова.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо аргументи та принципову можливість застосування променевих водозаборів. До таких водозаборів можна віднести власне променеві й так звані «горизонтальні водозабори» [10]. Як перші, так і другі мають принципово схожу конструкцію – вони складаються з водозбірної камери у вигляді колодязя або шахти й водозахватних променів – горизонтальних свердловин. Горизонтальні водозабори мають невелике заглиблення водозахватних променів – до 8 м глибини від поверхні землі та каптують підземні води, що залягають неглибоко, а власне променеві водозабори мають горизонтальні (або слабо нахилені до колодязя) промені-свердловини довжиною до 70 м, вироблені на порівняно більших глибинах – до 35–40 м.

Перший променевий водозабір був побудований Л. Раннеєм у 1934 р. в алювіальних відкладах р. Темзи в Лондоні й працює до цього часу. Він складався з вертикальної шахти глибиною 40 м і горизонтальних свердловин, вода з яких самопливом надходила в шахту і подавалася на поверхню насосом. По суті, цей водозабір підземних вод відрізняється від традиційних свердловинних більшою поверхнею водоприймальної частини. Вже до початку 60-х років за вказаним методом у США, Угорщині, ФРН та інших західних країнах було побудовано близько чотирьохсот водозаборів. Горизонтальні промені в них були обладнані на глибині до 40 м і мали довжину, в основному, від 10 до 70 м. Променеві конструкції, що застосовуються в умовах малопроникних порід, дозволяють за рахунок збільшення фільтруючої площі підвищити продуктивність водозабору, проте, в разі середніх і високих фільтраційних параметрів водоносних порід, ці системи дозволяють досягти продуктивності систем, які ефективно забирають воду з поверхневих водойм. Так, в сприятливих гідрогеологічних умовах продуктивність променевих водозаборів може досягати 2000–2400 м^3/год [10] або 48–58 тис. м^3/добу, що зіставляється з потребою міста з населенням 250–300 тис. чол. При цьому, у порівнянні з водозаборами поверхневих вод, променеві й горизонтальні мають перевагу підземних водозаборів – температура видобутої води стабілізується, усувається каламутність, завислі речовини та планктон, значно поліпшуються бактеріологічні показники. Це дозволяє суттєво знизити концентрацію хлору у водопровідній воді та застосовувати його тільки для протидії вторинному зараженню у водопроводі. Підземний забір поверхневої води дозволяє також виключити негативний вплив на стан водних екосистем поверхневих водних об'єктів, зокрема, на планктонні організми та іхтіофауну.

Продуктивність горизонтальних водозаборів у розрахунку на одиницю довжини променя (горизонтальної свердловини) істотно нижче в порівнянні з променевими водозаборами, оскільки напір води над місцем її відбору відносно невеликий. Водночас спорудження таких водозаборів траншейним способом під дном водосховища дозволяє нарощувати відбір води як внаслідок наявності напору поверхневих вод, так і за рахунок довжини променів, яка обмежується тільки розміром акваторії.

Комбінація зазначених водозаборів з поповненням запасів підземних вод із поверхневих дозволяє скоротити площу водозаборів (в порівнянні з водозаборами з підземних вод) і забезпечує роботу водозаборів в сталому режимі. Більш того, з європейської практики відомі променеві водозабори, що споруджуються на невеликих природних і штучних річкових островах, що практично усуває відчуження цінних земельних ділянок [10].

Автори статті пропонують розглянути варіанти розміщення променевих водозаборів різної конструкції в долині р. Сіверський Донець вище Кочетоцьких водозабірних споруд. Одним із варіантів є акваторія Печенізького водосховища, яке призначене саме для забезпечення водопостачання Харкова.

На рис. 1 і 2 показані принципові устрої горизонтального і променевого водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод Печенізького водосховища.

Розглянемо варіант горизонтального водозабору. Для такого водозабору потрібна наявність досить потужного порово-пластового колектора із задовільними фільтраційними характеристиками. На розрізі, наведеному на рис. 1, можна бачити, що в межах акваторії Печенізького водосховища і нижче за течією річки піщаний алювій залягає на крейдяних породах. За досвідом різних робіт у регіоні та експертною оцінкою, у цій частині долини р. Сіверський Донець товщина шару піщаного алювію в районі водосховища орієнтовно становить 7–11 м, а коефіцієнт фільтрації пісків можна попередньо прийняти на рівні 4–6 м/добу. Потужність намивного шару піщаного ґрунту над водозбірними дренами необхідно приймати не менше 5 м, оскільки, починаючи з такої товщини шару піску, забезпечується істотний бактеріальний захист [10]. Окрім того, при такому заглибленні водоприймальної частини фільтруюча поверхня розосереджується на значну площу, що зменшує вхідну швидкість води й, відповідно, зменшує кольматацію піщаного фільтра. Передбачається, що коефіцієнт фільтрації намивного шару кварцових дрібнозернистих пісків буде становити не менше 6 м/добу.

Приймаємо, що відбір води через рівномірно розподілені по площі дрени забезпечує середнє зниження рівня води на рівні фільтрів щодо рівня води у водосховищі на 0,5 м. Тоді розрахунковий водовідбір Q з такого водозабору (тільки за рахунок припливу зверху – з поверхневих вод) можна визначити за формулою Дюпюї:

$$Q = K\ I\ F, \qquad (1)$$

де: K – коефіцієнт фільтрації намивного піщаного шару, м/добу;

I – градієнт напору, рівний відношенню різниці напорів на поверхні фільтруючого шару і в дрені до потужності фільтруючого шару, які в даному випадку прийняті рівними 0,5 і 5 м, відповідно;

F – площа фільтрації, при розрахунку одиничного значення витрати прийнято 1 м^2.

Підставляючи значення величин у формулу 1, одержуємо величину водоприпливу на 1 м^2 площі:

$$Q = K\ I\ F = 6*(0{,}5/5)*1 = 0{,}6\ (м^3/добу).$$

Для отримання необхідного дебіту 450 тис. м^3/добу площа, яка зайнята систематичним горизонтальним водозабором, складе 450000/0,6 = = 750 000 м^2, або 0,75 км^2, що при загальній площі

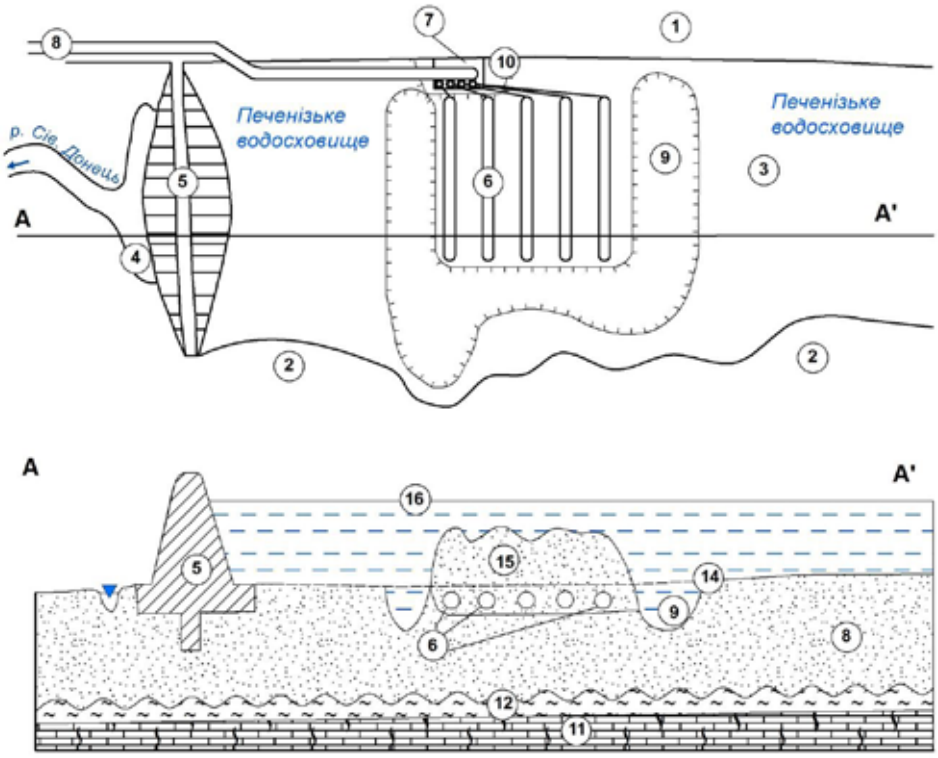


Рис. 1. Принциповий устрій горизонтального водозабору підземних вод з поповненням із Печенізького водосховища

1 – корінний схил долини р. Сіверський Донець; 2 – борова тераса р. Сіверський Донець; 3 – Печенізьке водосховище у межах заплави й частково борової тераси; 4 – р. Сіверський Донець; 5 – гребля Печенізького водосховища; 6 – промені горизонтальних водозаборів; 7 – камера з засувкою; 8 – магістральний водопровід до вузла водопідготовки; 9 – виїмка піщаного ґрунту; 10 – намитий півострів; 11 – мергельно-крейдяні тріщинуваті водоносні відклади; 12 – «кольматаційний» шар у покрівлі мергельно-крейдяних відкладів, відносно водотривкий; 13 – алювіальні піски; 14 – дно водосховища до будівництва інфільтраційного водозабору; 15 – намитий піщаний фільтр; 16 – рівень води у водосховищі.

акваторії Печенізького водосховища 86,2 км^2 становить не більше 1%, тобто ємність й екологічні умови водойми суттєво не зміняться. Необхідно зазначити, що у вищенаведеній оцінці дебіту не враховувався приплив знизу – з підземних вод мергельно-крейдяного горизонту, тому оцінено максимальне значення площі горизонтального водозабору.

У варіанті променевого водозабору отримання великої продуктивності можливо в умовах досконалого фільтраційного зв'язку поверхневих вод із першим від поверхні водоносним горизонтом і наявності ефективного тріщинуватого середовища у підстеляючій мергельно-крейдяній товщі.

Як зазначено вище, алювіальний водоносний горизонт, який складається з середньо-дрібнозернистого кварцевого піску, має добрі фільтраційні властивості. Мергельно-крейдяний горизонт зазвичай приурочений до зони відкритої тріщинуватості крейдяних порід, яка поширюється до глибини 70–80 м від поверхні землі. Продуктивність свердловин, обладнаних на цей горизонт, в межах заплав річок і перших надзаплавних терас у долині р. Сіверський Донець (якщо крейдяні породи залягають під алювієм) в більшості випадків коливається між 10 і 50 м^3/год. Значення коефіцієнтів фільтрації зазвичай складають 5–30 м/добу і закономірно зменшуються зверху вниз відповідно до ступеня розкритості тріщин. Саме такі умови мають місце в межах південної частини Печенізького водосховища, акваторія якого покриває піщані відклади заплави й частково першої надзаплавної тераси, а стан розкритості тріщин в крейдяних породах в умовах затоплення цих терас сприяє поліпшенню фільтраційної здатності. Це дозволяє очікувати значних водопритоків до променевого водозабору.

Дебіт одного променевого водозабору класичної конструкції (рис. 2) для умов ізольованого в покрівлі й у підошві пласта при несталому русі (що в даному випадку представляє інженерний запас) може бути визначений за формулою Г.О. Разумова [10]:

$$Q = \frac{2\pi k\left(h_e^2 - h_0^2\right)N}{\left(ln\frac{at}{m^2} - \frac{15,6}{\sqrt[5]{\bar{l} + 3\bar{D}}}\right)n + \frac{3D + 3,6}{\bar{l}}}, \qquad (2)$$

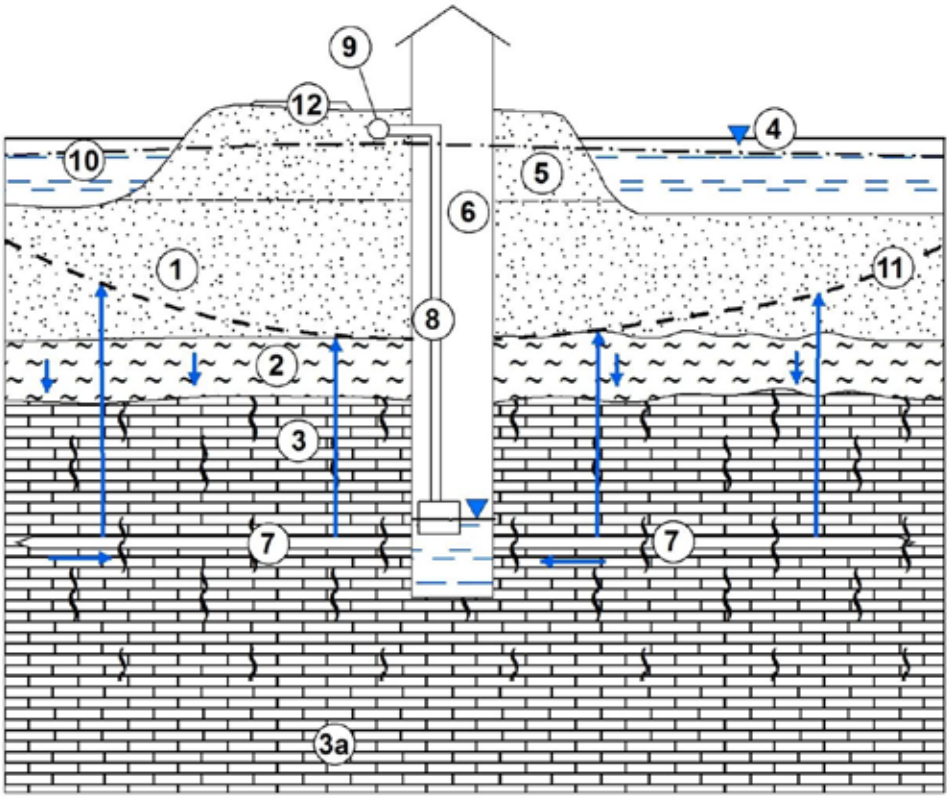


Рис. 2. Принципова схема променевого водозабору на акваторії Печенізького водосховища

1 – піщаний алювій; 2 – «кольматаційний» шар у покрівлі мергельно-крейдяних відкладів, відносно водотривкий; 3 – мергельно-крейдяні тріщинуваті водоносні відклади; 4 – рівень води у водосховищі; 5 – намитий півострів; 6 – водозбірна шахта; 7 – горизонтальні водозбірні промені; 8 – насос і водопіднімні труби; 9 – трубопровід; 10 – п'єзометричний рівень мергельно-крейдяного водоносного горизонту у непорушених умовах; 11 – динамічний рівень в експлуатаційному водоносному горизонті; 12 – дорога з твердим покриттям.

де: k – коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту, приймається середнє значення за експертною оцінкою – 5 м/добу;

h_e – абсолютна відмітка води у водоносному горизонті, яка наближена до відмітки води у водосховищі – 100 м;

h_o – абсолютна відмітка динамічного рівня води у каптажній споруді – приймається на 10 м нижче відмітки статичного рівня – 90 м;

N – число променів (горизонтальних свердловин);

a – коефіцієнт п'єзопровідності водоносного горизонту мергельно-крейдяних відкладів, що за досвідом робіт (експертна оцінка) приймається рівним 10^5 м^2/добу;

t – час роботи водозабору, що приймається рівним 25 рокам, або приблизно 10^4 діб;

m – потужність водоносного горизонту тріщинуватої зони мергельно-крейдяних відкладів, експертно приймається 55 м;

l – довжина горизонтальних свердловин, прийнято 30 м;

$\bar{l}$ – відносна довжина горизонтальної свердловини, l/m;

D – діаметр водозбірного колодязя, прийнятий рівним 4 м;

$\overline{D}$ – відносний діаметр водозбірного колодязя, D/2m;

N – 360^0/β, де β – кут між променями, град.

Не до кінця вивченим залишається ступінь ізольованості мергельно-крейдяного горизонту зверху так званою «зоною кольматації» – шаром пластичної крейди, який в долинах річок є відносним водотривом. За досвідом експлуатації відомо, що тривала експлуатація підземних вод на ряді водозаборів у Харківській області свідчить про досить тісний фільтраційний зв'язок крейдового й алювіального водоносних горизонтів. Цей параметр потребує вивчення дослідними відкачуваннями безпосередньо у межах акваторії водосховища.

Підставляючи зазначені величини в формулу 2, отримуємо:

$$Q = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 5\left(100^2 - 90^2\right) \cdot \left(\frac{360}{60}\right)}{\left(ln\frac{10^5 \cdot 10^4}{55^2} - \frac{15{,}6}{\sqrt[5]{\frac{30}{55} + 3 \cdot \frac{4}{2 \cdot 55}}} \right) \cdot 6 + \frac{3 \cdot 4 + 3{,}6}{\frac{30}{55}}} = 120\,450 \text{ (м}^3\text{/добу).}$$

Таким чином, обладнання чотирьох вищевказаних променевих водозаборів, розміщених на штучних півостровах в межах акваторії Печенізького водосховища, дозволить покрити всю перспективну потребу у господарсько-побутовій і технічній воді м. Харкова.

Необхідно зазначити, що на практиці наведений вище розрахунковий дебіт одного променевого водозабору буде обмежуватися гідравлічним опором в променях (обмеження пропускної здатності горизонтальних свердловин), тому конструкція променів-свердловин повинна це враховувати. З іншого боку, зважаючи на велику кількість вихідних параметрів, виконаний розрахунок слід вважати попереднім, тобто таким, що надає перше наближення до вишукуваної величини.

Матеріали гідрогеологічних досліджень дозволять з більшою достовірністю обґрунтувати розрахунковий дебіт горизонтального і променевого водозаборів, що поряд з іншими параметрами (вартість будівництва водозабірних споруд, вартість намивання піщаного фільтра, величина площі, яку займає споруда та ін.) ляже в основу порівняння варіантів водозаборів для господарсько-побутового і технічного водопостачання м. Харкова на стадії техніко-економічного обґрунтування. При цьому необхідно врахувати різницю в якісних показниках води, отриманої з різних глибин, перш за все, це: бактеріальні показники, вміст заліза, марганцю, амонію, сірководню, Eh, окислюваність, кольоровість, запах, температура. Ці показники також можна вивчити при дослідних відкачуваннях свердловин при вишукуваннях в межах акваторії Печенізького водосховища.

Головні висновки. Досвід розвинених країн і економічні чинники свідчать про перевагу експлуатації променевих і горизонтальних підземних водозаборів при використанні поверхневих джерел води для крупного централізованого водопостачання у порівнянні з варіантом відбору безпосередньо з водойм. Для системи централізованого водопостачання м. Харкова, яка базується на річкових водах Сіверського Донця, це дозволить зняти проблеми каламутності води у період повені, водоростей у період цвітіння, знизити бактеріальне забруднення і зменшити до мінімуму коливання температури відібраної води.

Гідрогеологічні умови в долині р. Сіверський Донець дозволяють будувати ефективні променеві й горизонтальні підземні водозабори з поповненням із Печенізького водосховища з метою забезпечення господарсько-побутового і технічного водопостачання м. Харкова.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень, зокрема, доцільність спорудження променевих і горизонтальних водозаборів підземних вод з поповненням із поверхневих вод, а також запропоновані схеми розташування водозабірних споруд у межах акваторії Печенізького водосховища можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад при вирішенні проблеми забезпечення м. Харкова господарсько-побутовою і технічною водою на стадії техніко-економічного обґрунтування.

Література

1. Яковлєв В. В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. … д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харк. нац. ун-т ім. В. Н. Каразіна, 2017. 351 с.
2. Яцик А. В. Екологічна ситуація в Україні і шляхи її поліпшення. Київ: Оріяни, 2003. 84 с.
3. Bowen, R. (1986). Groundwater: 2nd ed. London : *Elsevier*. 427 p.
4. Clara, M., Strenn, B., Kreuzinger, N. (2004). Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behavior of carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water Research.* № 38 (4). P. 947–954.
5. Cleuvers, M. (2003). Aquatic ecotoxicity of pharmaceuticals including the assessment of combination effects. *Toxicology Letters.* 142 (3). P. 185–194.
6. Goudie, A.S. (1986). The Human Impact on the Environment. Oxford : *Basil Blackwell*. 605 p.
7. Гончарук Є.Г. Комунальна гігієна / Є.Г. Гончарук, В.Г. Бардов, С.І. Гаркавий, О.П. Яворовський та ін.; За ред. Є.Г. Гончарука. Київ: Здоров'я, 2006. 792 с.
8. Водний Кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189.
9. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.04.2021 р. № 388-р. *Офіційний вісник України.* 2021. № 37. Ст. 2250.
10. Яковлєв В.В., Ліщина В.Д., Бабаєв М.В., Васенко О.Г. Джерела водопостачання Харкова і перспективи використання променевих водозаборів. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2015. Вип. 37. С. 106–126.

УДК 504+581.6
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.13

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛУ ШАХТИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕПОРОДНОГО ПИЛУ В АТМОСФЕРУ

Ковров О.С., Красовський С.А., Сушко З.Л.
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро
kovrov.o.s@nmu.one, kpacka0@gmail.com, sushko.z.l@nmu.one

Український енергетичний сектор залежить від мінеральних ресурсів. Одним із них є вугілля. Вугільна промисловість відіграє важливу енергетичну роль для України. Близько 93% всіх вугільних підприємств знаходяться на території Донецького вугільного басейну. Більшість вугілля, що добувається використовується в енергетичному секторі, а саме при роботі тепло та електростанцій. При інтенсивному добуванні даного мінерального ресурсу, також збільшується антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Процес вуглевидобування має негативний вплив на всіх етапах починаючи від підняття мінерального ресурсу до його транспортування в фінальну точку. Одним із негативних факторів є створення відвалів відходів вуглевидобування. Дані відвали займають великі території та мають негативний вплив на літосферу, гідросферу та атмосферу. В даному дослідженні проводився аналіз негативного впливу на атмосферу за рахунок утворення та здування вуглепородного пилу з породного відвалу. Даний фактор негативно впливає на біологічні процеси флори, і має негативний вплив на здоров'я фауни та людини. В статті представлено оцінку впливу викидів вуглепородного пилу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та перспективи зниження цього впливу через заходи біологічної рекультивації. Територія відвалу сягає 27 га. Річний обсяг вуглепородного пилу, що утворюється впродовж року з даного відвалу складає 289,8 тон. Проаналізована динаміка пилоутворення залежно від вологості породної маси та швидкості вітру. Запропонований метод фіторемедіації даного відвалу з використанням дикого злаку, ячменю мишачого *Hordeum murinum L.* Проаналізована економічна доцільність даних природоохоронних заходів з урахуванням плати екологічного податку за викиди пилу в атмосферу. *Ключові слова:* відвал відходів вуглевидобування, пилоутворення, біологічна рекультивація, *Hordeum murinum L.*

Assessment of the efficiency of mine dump biological recultivation for reducing carbon-rock dust emissions into atmosphere. Kovrov O., Krasovskyi S., Sushko Z.

The Ukrainian energy sector depends on mineral resources. One of them is coal. The coal industry plays an important energy role for Ukrainian economy. Up to 93% of all coal enterprises are located in the Donetsk coal basin. Most of the coal production is used in the energy sector, namely in the heat and power generation technologies. With the intensive extraction of this mineral resource, the anthropogenic load on the environment also increases. The process of coal mining has a negative impact at all stages, from the extraction of the mineral resource to its transportation to the final point. One of the negative factors is the creation of coal mining waste dumps. These dumps occupy large areas and have a negative impact on the lithosphere, hydrosphere and atmosphere. In this paper, an analysis of the negative impact on the atmosphere due to the formation and blowing of coal dust from the rock dump surface is presented. This factor negatively affects the biological processes of the flora, and has a negative impact on the health of fauna and humans. The article evaluates the impact of coal dust emissions from the waste dump of the State Open Joint Stock Company "Zahidno-Donbaska" mine and the perspectives for reducing this impact through biological remediation measures. The territory of the dump reaches 27 hectares. The annual volume of carbon dust generated during the year from this dump is 289.8 tons. The dynamics of dust formation depending on the humidity of the rock mass and wind speed were analyzed. The method of phytoremediation of this dump using wild grain of mouse barley *Hordeum murinum L* is proposed. The economic expediency of these environmental protection measures is analyzed, taking into account the payment of environmental tax for dust emissions into the atmosphere. *Key words:* coal mining waste dump, dust generation, biological remediation, *Hordeum murinum L.*

Постановка проблеми. Вугілля є важливим енергетичним ресурсом. Станом на 2020 рік в Україні налічувалося 148 шахт, із них 102 підпорядковуються державі. Близько 93% всіх вугільних запасів України знаходяться в Донецькому вугільному басейні, На Львівсько-Волинський басейн припадає приблизно 3%. Більшість вугілля, що добувається використовується в енергетичному секторі, а саме при роботі тепло та електростанцій. Із-за інтенсивного видобутку даного мінерального ресурсу, створюються багато негативних факторів, які впливають на навколишнє середовище. Одним зі них є накопичення пустих порід, на територіях, що потенційно могли бути використанні у сільському господарстві. Дані промислові території, що відведені, для накопичення пустих порід називаються териконами, або відвалами відходів вуглевидобування. Дані об'єкти завдають негативного впливу на всі сфери навколишнього середовища. Вугільні відвали, забруднюють потенційно родючий шар

літосфери важкими металами, змінюють ландшафт даної території, забруднюють підземні та поверхневі води, також забруднюють атмосферу та змінюють біогеоценоз території. Зменшити антропогенний вплив вугільного відвалу на навколишнє середовище, можна фізичними, хімічними та біологічними методами. Перші два методи мають високу собівартість та є трудомісткими. Біологічний метод є більш дешевшим та не потребує задіяння великих ресурсів. Даний метод біологічної рекультивації також має назву фіторемедіація. Це метод при якому для зменшення антропогенного навантаження задіяні рослини. За допомогою рослин можливо зменшити вітрову та водну ерозію відвалів відходів вуглевидобування та повернути забрудненні території до сільсько-господарського використання. Використання дикорослих злаків для фіторемедіації техногенних та забруднених земель є ефективним напрямком біологічної рекультивації, який дозволяє за короткий проміжок часу створити рослинний покрив з піонерних та стійких видів рослин, що дасть поштовх до розвитку біологічного різноманіття.

Актуальність дослідження. Розрахунок потенційної небезпеки для навколишнього середовища від пилоутворення на відвалі відходів вуглевидобуванні ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та розрахунок економічної доцільності від біологічної рекультивації відвалу.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторами розраховано потенційна можливість забруднення атмосферного повітря від пилоутворення вугільного відвалу. Виконані орієнтовні розрахунки щодо біологічної рекультивації та оцінений економічний ефект від природоохоронних заходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Гірничодобувні роботи мають негативний вплив на навколишнє середовище. Вплив на забруднення навколишнього середовища, спричиненого видобутком корисних копалин, залежить від виду корисних копалин, способу видобутку та інших факторів. Однак забруднення вугільним пилом та пилом від пустих порід становить велику загрозу для здоров'я людини в процесі зберігання, транспортування та укладання вугілля та породи. Система управління пустими гірськими породами включає підготовку породи, її зберігання та транспортування на вугільний відвал. Гірничу породу спочатку необхідно транспортувати з шахт до місця накопичення. Вібрації та рухи, спричинені дорожнім полотном, стрілочними переводами та залізничними спорудами, а також дія вітру, призводять до того, що пил з пустої породи розлітається на землю та потрапляє в повітря, що призводить до забруднення. Пил з вугільних відвалів має складний мінеральний і хімічний склад, оскільки він походить із різних джерел і забезпечує реакційні центри для різних атмосферних хімічних речовин [1]. Ці хімічні речовини можуть спричинити зміни у властивостях пилу, що в свою чергу може спричинити ризик для здоров'я людини, екології та атмосферного середовища. Елементи, присутні в пилу, можуть впливати на біогеохімічні процеси. У короткі проміжки часу (від днів до тижнів) пил безпосередньо впливає на рослинність, змінює швидкість та час танення снігу та впливає на необхідні елементи (поживні речовини) для продуктивності рослин і мікроорганізмів. У довгостроковій перспективі пил може бути важливим чинником у формуванні та розвитку хімічних процесів в ґрунтах [2].

Рекультивація вугільних відвалів, для зменшення пиловиділення фізичними та хімічними методами, є дорогим і трудомістким. В якості альтернативи забруднений ґрунт може піддаватися біоремедіації або фіторемедіації, що полягає у використанні рослин або інших біологічних заходів для видалення, знищення або секвестрації небезпечних речовин із ґрунту та відвалів [3]. Існують деякі обмежувальні фактори, які впливають на ефективність фіторемедіації, такі як здатність рослин поглинати забруднюючі речовини, виживання на забруднених землях і низька біодоступність забруднюючих речовин [4]. Багато економічних видів рослин (включаючи дерева, трави, чагарники та водні рослини) підлягають характеристикам їхнього потенціалу для стійких практик фіторемедіації. Ряд економічно та екологічно важливих рослин мають здатність переносити та очищати забруднювачі із забруднених земель, тому їх класифікують як комерційні рослини [5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розрахована потенційна можливість викиду пилу з відвалу відходу вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та проведений розрахунок економічної доцільності біологічної рекультивації відвалу.

Новизна. Розрахований валовий обсяг викидів пилу з поверхні породного відвалу та проведений розрахунок економічної доцільності біологічної рекультивації відвалу.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в аналізі потенційної небезпеки для навколишнього середовища від пилоутворюючих процесів на відвалі вуглевидобування та в оцінці економічній доцільності біологічної рекультивації досліджуваного відвалу.

Виклад основного матеріалу. Породні відвали вугледобувних підприємств є основним фактором негативного впливу на навколишнє середовище. Подібна дія може проявлятися протягом тривалого часу у вигляді викидів пилу та тривалих ерозійних процесів. Навіть після припинення складування породи у відвал вплив на довкілля триває. Тому оцінка викидів пилу від поверхонь відвалів є актуальним завданням захисту навколишнього середовища.

Вважається, що за повного озеленення породного відвалу інтенсивність вітрової ерозії дорівнює нулю.

Тому після виконання комплексу фітомеліоративних робіт сума екологічних збитків зменшиться на величину, пов'язану із забрудненням атмосфери.

Для аналізу впливу забруднення пилу було взято відвал вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» (рис. 1).

Відповідно до технологічного паспорту породного відвалу, його площа складає 27 га, об'єм укладеної породи у відвал складає 7,124 млн. м^3, максимальна висота 60 м, кут укосу 37°-45° [6]. Форма відвалу представляє усічений конус. Відвал є діючий, не горить.

Розрахунок пиловиділення від породного відвалу. Для визначення кількості пилу з поверхні відвалу була визначена площа його загальної поверхні $S_{заг}$ за формулою 1:

$$S_{заг} = S_{верх} + S_{бік} \quad (1)$$

де $S_{верх}$ – площа верхньої основи, га; $S_{бік}$ – площа бічної поверхні відвалу, га.

При цьому припускаємо, що відвал є усіченим конусом і загальна поверхня пиління визначається як сума верхньої основи і бічної поверхні.

Для розрахунку площі бічної поверхні використовуємо формулу усіченого конусу (2):

$$S_{бік} = \pi \cdot l \cdot (r_1 + r_2), \quad (2)$$

де r_1, r_2 – радіуси відповідно нижньої та верхньої основ відвалу; l – довжина укосу (рис. 2).

Площа верхньої основи розраховується за формулою кола (3):

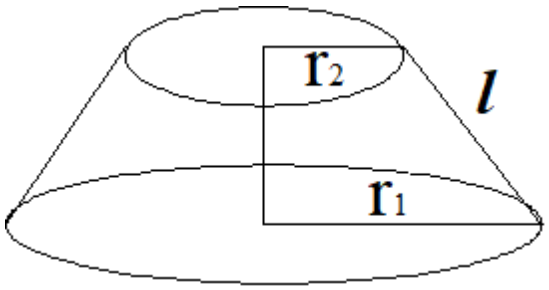


Рис. 2. Схематичне зображення відвалу для розрахунку площі його поверхні

$$S_{верх} = \pi \cdot r^2, \quad (3)$$

Так, площа, займана відвалом з нижньої основи становить 27 га або 270 000 м^2, а усереднене значення кута укосу відвалу – $\alpha = 45^o$.

Можна визначити радіус нижньої основи, яка становить 293,2 м.

Знаходимо різницю між нижньою та верхньою основами відвалу.

Δr= h ctgα, де h – висота відвалу, α – середній кут нахилу укосів; Δr = 60 м.

Довжину укосу можна визначити за теоремою Піфагора, l = 84,8 м.

Радіус верхньої основи знаходимо як r_1-Δr: 293,2 – 60 = **233,2** м.

Площа верхньої основи: $S_{верх}$ = 3,14 · (233,2) ^{2} = 170760 м^2.

Рис. 1. ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська»: 1 – відвал відходів вуглевидобування

$S_{бок} = \pi \cdot l \cdot (r_1 + r_2) = 3{,}14 \cdot 84{,}8 \cdot (293{,}2 + 233{,}2) = 140165{,}6$ м^2.

$S_{заг} = S_{верх} + S_{бок} = 170760 + 140165{,}6 = 310925{,}6$ м^2.

Всі необхідні розраховані дані для визначення площі поверхні відвалу представлені в табл. 1.

Для розрахунку сумарних викидів частинок пилу в атмосферу від породного відвалу шахти «Західно-Донбаська» ($M_{відв}$) використана формула (4):

$$M_{відв} = M_{розв} + M_{бульд} + M_{здув}, \text{ т/рік} \quad (4)$$

де $M_{розв}$ – кількість твердих частинок, що виділяються під час вивантаження породи з транспортного засобу, т/рік; $M_{бульд}$ – кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалу бульдозером, т/рік; $M_{здув}$ – кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні відвалу, т/рік.

Для розрахунку викидів пилу в атмосферу, що утворюються при розвантаженні породної маси з автосамоскидів у відвал шахти використана формула (5):

$$M_{розв} = q_{пит} \cdot П_{пор} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \eta), \text{ т/рік} \quad (5)$$

де $q_{пит}$ – питоме виділення твердих частинок при розвантаженні (перевантаженні) матеріалу, г/т; $q_{пит} = 0{,}32$ г/т; $П_{пор}$ – кількість матеріалу, що розвантажується (перевантажується), т/рік; K_1 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу, що перевантажується (рис. 3); K_2 – коефіцієнт, який враховує швидкість вітру (рис. 4); K_3 – коефіцієнт, який враховує висоту пересипання матеріалу, при висоті скидання 4 метри $K_3 = 1$; K_4 – коефіцієнт, який враховує ступінь захищеності точки розвантаження породи від зовнішніх впливів; для відкритих з 4-х сторін поверхонь відвалів дорівнює 1,0; η – ефективність засобів пилоподавлення, дол.од; за умов зрошення чи обробки поверхні відвалу пиловяжучими речовинами – $\eta = 0{,}85\text{-}0{,}9$; без застосування засобів пилоподавлення $\eta = 0$.

Отримана залежність представлена на основі експериментальних досліджень здуваності вуглепородного пилу з поверхні залежно від вологості породи. Вважається, що при транспортуванні матеріалу з вологістю понад 20% викиди в атмосферу практично відсутні.

Іншим важливим показником для розрахунку пиловиділення є показник швидкості вітру K_2. Розмір цього коефіцієнту при розрахунку річних викидів визначається за середніх значень швидкості вітру для конкретного регіону. Для отримання середніх даних швидкості вітру за рік, були взяті дані з Гідрометцентру по Павлоградському району, Тернівської територіальної громади [7]. На рис. 4 представлена залежність від коефіцієнту K_2, який враховує швидкість вітру.

Для розрахунку кількості пилу ($M_{бульд}$ т/рік), що викидається в атмосферу від відвалу шахти «Західно-Донбаська» при формуванні бульдозером, розраховується за формулою (6):

Таблиця 1

Загальна інформація про параметри відвалу

Висота, м	Площа основи, м^2	Об'єм породи, м^3	Річний об'єм породи, м^3	Площа бічної поверхні, м^2	Площа верхньої основи, м^2	Загальна площа відвалу, м^2
60 м	270 000	$7{,}124*10^6$	217197,4	140165,6	170760	310925,6

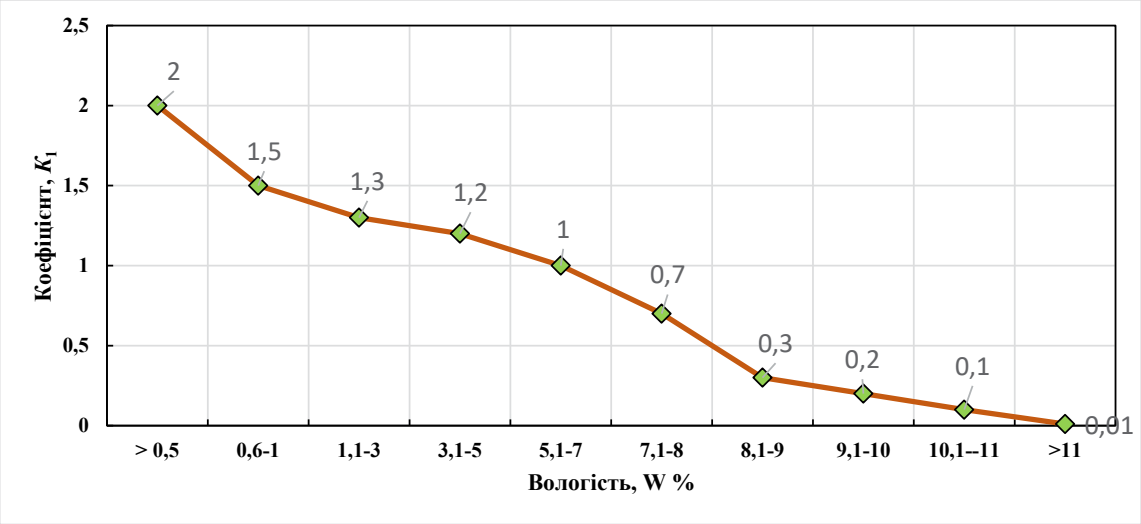


Рис. 3. Залежність коефіцієнта K_1 від вологості породи

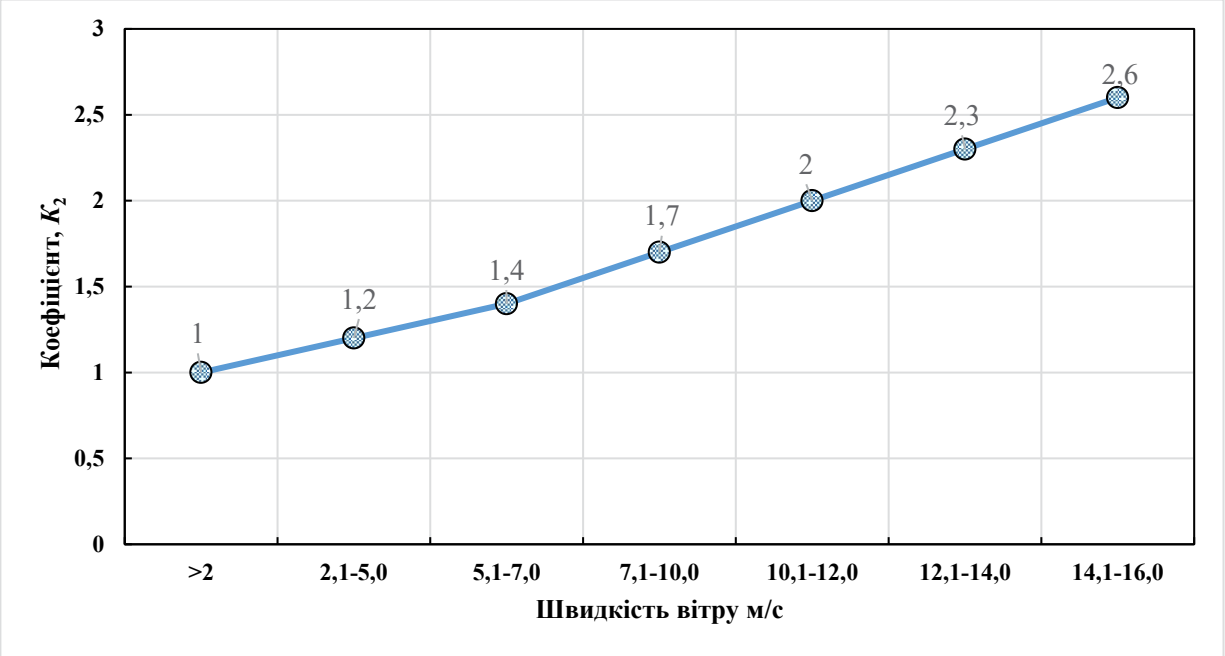


Рис. 4. Залежність коефіцієнту K_2 від швидкості вітру

$$M_{\text{бульд}} = q_{\text{бульд}} \cdot П_{\text{j}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

де $q_{\text{бульд}}$ – питоме виділення твердих частинок з 1 тони матеріалу, що переміщується бульдозером, г/т; $П_{\text{j}}$ – кількість матеріалу, що перевантажується бульдозерами за рік, т; $П_{\text{j}} = П_{\text{пор}}$; K_1 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу; K_2 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру.

Для планування поверхні відвалу використовуються бульдозери ДЗ-35С потужністю 132,5 кВт з питомим виділенням пилу $q_{\text{бульд}} = 0{,}70$ г/т згідно з технологічним паспортом формування відвалу.

Для розрахунку кількості твердих часток пилу, що здуваються з поверхні породного відвалу шахти «Західно-Донбаська» $M_{\text{здув}}$, визначалося за формулою (7) :

$$M_{\text{здув}} = 86{,}4 \cdot q_{\text{здув}} \cdot S_{\text{пил}} \cdot \rho \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot \cdot [365-(T_{\text{сніг}} + T_{\text{опади}})] \cdot (1- \eta) \quad (7)$$

де $q_{\text{здув}}$ – питома здуваність твердих частинок з пилу поверхні відвалу (приймається рівною $0{,}1 \cdot 10\text{-}6$ кг/(м^2·с);

$S_{\text{пил}}$ – площа поверхні відвалу, що пилить, м^2;

ρ – коефіцієнт подрібнення гірничої маси (приймається рівним 0,1);

K_1 – коефіцієнт, що враховує вологість породи (рис. 3);

K_2 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (рис. 4);

K_5 – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок з діючих і недіючих відвалів, вибирається наступним чином: $K_5 = 1$ для діючого відвалу; для недіючих відвалів $K_5 = 0{,}2$ (у перші три роки після припинення експлуатації); $K_5 = 0{,}1$ (у наступні роки до повного озеленення відвалу);

$T_{\text{сніг}}$ – кількість днів із стійким сніговим покривом (за даними Укргідромету);

$T_{\text{опади}}$ – кількість днів з опадами (за даними Укргідромету);

η – ефективність засобів пилоподавлення, дол. од. (при гідрознепилюванні

або зрошенні $\eta = 0{,}85\text{-}0{,}9$, без засобів пилоподавлення $\eta = 0$).

Розрахунки сумарних викидів частинок пилу в атмосферу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» ($M_{\text{відв}}$) представлені в табл. 2.

Розрахунок біомаси рослин для біологічної рекультивації поверхні відвалу. Прогноз рослинної біомаси походить здебільш із аграрних наук, де використовуються методи прогнозу врожайності сільськогосподарських культур. Для потреб рекультивації техногенних земель можна використовувати аналогічні методи та розрахунки, які базуються на емпіричних залежностях та експертних оцінках.

Таблиця 2

Сумарні викиди частинок пилу в атмосферу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська»

Показник	$M_{\text{розв}}$	$M_{\text{бульд}}$	$M_{\text{здув}}$	$M_{\text{відв}}$
Значення т/рік	0,0008	0,27	227,6	289,8

Прогнозування біомаси рослин під час біологічної рекультивації гірничопромислових земель базується на емпіричних оцінках біопродуктивності певних рослин з урахуванням багатьох чинників, зокрема: рівень вологи породної маси в поверхневому шарі, середньодобових коливань температур, несприятливі метеорологічні чинники, видового складу рослин-фіторемедіантів, стійкість та адаптивні властивості рослин, тощо.

Рослинна біомаса трав'янистих рослин для біологічної рекультивації техногенних територій визначається як кількість енергії сонця зафіксованої на одиниці площі в органічній масі рослинного врожаю. Абсолютна величина цієї енергії визначається за формулою 8 та дорівнює добутку сухої біомаси урожаю з площі на теплотворну здатність біомаси:

$$E = ПУ \cdot q \qquad (8)$$

де, E – кількість сонячної енергії, що міститься в урожаї, кДж або ккал/га; $ПУ$ – потенційна урожайність сухої біомаси, кг/га; q – калорійність (теплоутворююча здатність) вирощеної біомаси, кДж або ккал/кг.

Також є формула, яка більш детально характеризує вплив сонячної радіації на приріст біомаси рослини. Маючи дані по калорійності біомаси рослин і приходу фотосинтетичної активної радіації (ФАР), можна наближено визначити потенційний урожай (біомасу) за формулою (9):

$$ПУ = K_ф \cdot K_т \cdot K_{рп} \cdot \frac{\sum Q}{q} \qquad (9)$$

де ПУ – потенційний урожай (біомаса) у сухому стані, ц/га, при оптимальних метеорологічних умовах; $K_ф$ – коефіцієнт використання ФАР, виражений у частках одиниці по А.О. Ничипоровичу (звичайні значення – 0,005-0,015; добрі – 0,015-0,03; рекордні – 0,035-0,05; теоретично можливі – 0,06-0,08); Kт – коефіцієнт відношення надземної і підземної частини трав'янистого покриву, який показує частку фотосинтетичної активної частини врожаю в загальній біомасі; $K_{рп}$ – коефіцієнт рослинного покриву (оцінюється згідно з табл. 3); ΣQ – кількість ФАР, що надходить за період вегетації, ккал/га або кДж/га (за табл. 4); q – калорійність біомаси рослин, ккал/ц або кДж/ц (табл. 5).

Коефіцієнт рослинного покриву $K_{рп}$ залежить від низки природних (кількість опадів та зволоження ґрунту, наявність елементів живлення, сонячне освітлення тощо) і техногенних чинників (фізичне порушення структури ґрунту, забруднення важкими металами чи органо-мінеральними домішками).

В таблиці 4 представлені середні багаторічні щомісячні суми ФАР на території України, в південних областях, кДж/см^2 (Цупенко М.Ф., 1990). Так як досліджуваний відвал ДВАТ Шахта «Західно Донбаська» знаходиться в Дніпропетровській області, то відповідно дані для розрахунку були взяті по області.

В таблиці 5 представлено калорійність біомаси рослин.

Якщо припустити, що для рослин, якими рекультивують породний відвал усереднене значення $K_ф$ = 0,015, а Kт = 1,0, то показники потенційної біомаси у сухому стані будуть представлені у вигляді лінійної зростаючої залежності від коефіцієнту рослинного покриву $K_{рп}$ (рис. 5).

Проаналізувавши дану залежність, можна побачити, що при збільшені загального відсотку покриву

Таблиця 3

Коефіцієнт рослинного покриву $K_{рп}$

Характеристика покриття поверхні рослинним покривом, %	Коефіцієнт рослинного покриву $K_{рп}$, безрозм.
Повне покриття поверхні на 100%	1,0
Покриття поверхні на 80%	0,8
Покриття поверхні на 60%	0,6
Покриття поверхні на 40%	0,4
Покриття поверхні на 20%	0,2
Рослинний покрив відсутній, 0%	0

Таблиця 4

Середні багаторічні щомісячні суми ФАР на території України, кДж/см^2 (Цупенко М.Ф., 1990)

Область	IV	V	VI	VII	За період з t° вище		За рік
					+5°C	+10 °C	
Дніпропетровська	22,2	31,4	33,6	34,3	1886	1593	2297
Донецька	23,5	31,4	33,3	34,6	1844	1593	2311
Запорізька	24,0	32,1	35,7	35,7	1928	1672	2393
Миколаївська	23,6	31,6	33,5	35,7	1928	1672	2365
Херсонська	24,5	33,3	34,6	36,1	2053	1761	2457

Таблиця 5

Калорійність рослин за стандартної вологості біомаси

Дикорослі рослини для рекультивації	Калорійність абсолютно сухої речовини *q*, кДж/кг	Стандартна вологість біомаси рослин W, %
Ячмінь мишачий (*Hordeum murinum*)	18646	14
Костер безостий (*Bromus inermis*)	18520	14
Стоколос японський (*Bromus japonicas*)	19735	16
Вівсюг звичайний (*Avena fatua*)	17179	14
Куни́чник назе́мний (*Calamagróstis epigéjos*)	19274	15
Грястиця збірна (*Dactylis glomerata*)	19217	14

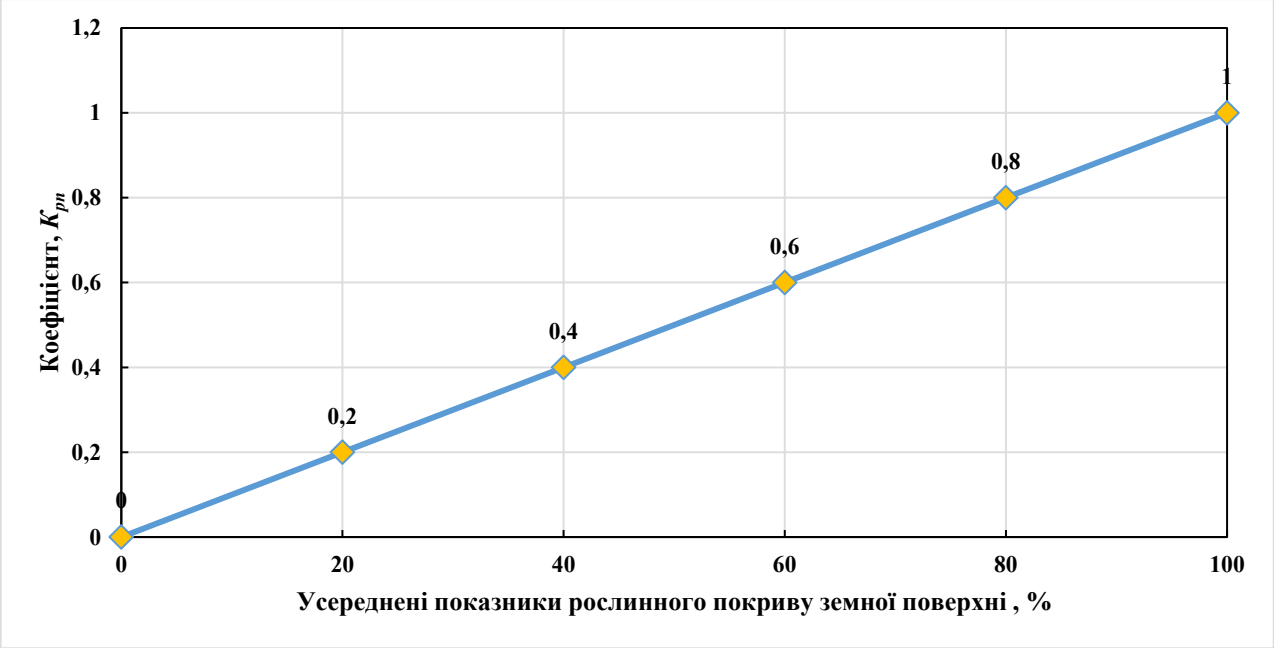


Рис. 5. Залежність показників потенційної біомаси рослин

землі рослинністю, прямопропорційно збільшується коефіцієнт рослинного покриву – $K_{рп.}$

Згідно планової діяльності підприємства шахти «Західно-Донбаська» розмір екологічного податку з урахуванням викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, становить 2519051,0 грн/рік. З них 22094,3 виплачуються за потрапляння пилових часток в атмосферне повітря щорічно.

Для зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище вугільного відвалу шахти «Західно-Донбаська» пропонується виконати біологічну рекультивацію після закінчення активної фази формування вугільного відвалу. Для цього виконана прогнозна оцінка необхідної рослинної біомаси для досліджуваного вугільного відвалу. В якості фіторемедіанта запропоновано використання диких злаків, зокрема такої поширеної рослини як ячмінь мишачий *Hordeum murinum L.* Одним із важливих факторів при розрахунку необхідної біомаси рослин для вугільного відвалу є вплив сонячної радіації на приріст біомаси рослини. Даний фактор на суху речовину розраховується за формулою 9.

Для розрахунку біомаси рослин з урахуванням природної вологості $P_{вол}$ використовувалась формула 10:

$$P_{вол} = \frac{P_{сух}}{(100 - W)} \cdot 100\% \qquad (10)$$

Результати розрахунків біомаси рослин для біологічної рекультивації вугільного відвалу шахти «Західно-Донбаська» представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Показники біомаси рослин

Показник	ПУ	$P_{вол}$
Значення кг/м^2	0,553	0,643

Згідно отриманих результатів, то для кліматичної зони та фізико-хімічних характеристик, які має вугільний відвал шахти «Західно-Донбаська» отримали, що 0,643 біомаси можна отримати з м^2 відвалу.

Промислове підприємство ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» сплачує екологічний податок з викидів пилу 22094,3 на рік. При засадженні даного відвалу досліджуваною рослиною можна зменшити кількість пилу, що здувається з досліджуваного відвалу. Також, не слід забувати, що при засадженні рослинами, зменшиться і викиди інших газів та забруднюючих речовин, що значно скоротить сумарні витрати підприємства на виплату екологічних податків.

Висновки. В результаті проведених досліджень, було встановлено, що відвал відходів вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» запилює атмосферне повітря пиловими частинками 289,8 т/рік. Був проведений розрахунок фіторемедіації даного відвалу, і встановлено, необхідність біологічної рекультивації поверхні відвалу вуглевидобування дикорослим злаком ячменю мишачого *Hordeum murinum L.,* для зменшення пиловидалення з даного вугільного відвалу. Також, слід враховувати, що кількість забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря зменшиться, що дає змогу підприємству ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» зменшити загальні виплати за екологічні податки.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дають змогу використовувати біологічний метод рекультивації відвалу відходу вуглевидобування ДВАТ Шахти «Західно-Донбаська» зі зменшенням антропогенного впливу на навколишнє середовище, зниження показників виділення вуглепородного пилу з відвалу та зменшення обсягів екологічного податку підприємства за відходи вуглевидобування.

Подяка/ Acknowledge.

Автори висловлюють щиру вдячність Програмі ЄС Еразмус+, яка надала можливість виконати представлені дослідження в рамках проєкту Жана Моне «Стандарти Європейського союзу щодо екологічної реабілітації гірничопромислових земель» (р.н. EUSERML-101085715, Програма ЄС Еразмус+), який реалізовується в НТУ «Дніпровська політехніка».

The authors express their sincere gratitude to the EU Erasmus+ Program, which provided the opportunity to carry out the presented research within the framework of the Jean Monet project “European Union Standards for Environmental Rehabilitation of Mining Lands” (Pr. num. EUSERML-101085715), which is implemented at Dnipro University of Technology.

Література

1. Abed, A.M., Kuisi, M.A., Khair, H.A., Characterization of the Khamaseen (spring) dust in Jordan. *Atmospheric Environment* 2009, Vol. 43, pp. 2868–2876.
2. Painter, T.H., Barrett, A.P., Landry, C.C., Neff, J.C., Cassidy, M.P., Lawrence, C.R., McBride, K. E., Farmer, G.L., Impact of disturbed desert soils on duration of mountain snow cover. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34.
3. Cunningham S.D and Ow D.W., Promises and prospects for phytoremediation; *Plant Physiology*. 1996. Vol. 110, pp. 715–719.
4. Chirakkara R, Reddy K., Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. *Journal of Hazard Toxic Radioactive Waste*. 2015. Vol. 19(4):04015004. doi:10.1061/(ASCE) HZ.2153-5515.0000282.
5. Pandey V.C, Pandey D.N, Singh N., Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 86. pp. 37–39.
6. Звіт оцінки впливу на довкілля планованої діяльності «розкриття 1 підготовка пласта C_1 у блоках № 1 і № 3. підготовка і відробка пласта С в західній частині блоку № 3 шахти «Західно-Донбаська», яка розташована у Павлоградському районі, Дніпропетровської області. Реконструкція». URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/602/f7b/375/602f7b375ef23539785807.pdf
7. Український гідрометеорологічний центр. Державної служби України з надзвичайних ситуацій. URL: https://www.meteo.gov.ua/

УДК 911.9:620.91
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.14

ГІДРОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Лопушанська М.Р., Іванов Є.А.
Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів
mariia.lopushanska.agrn@lnu.edu.ua, yevhen.ivanov@lnu.edu.ua

Розглянуто та проаналізовано вплив гідрологічних чинників на розвиток об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області. Головну увагу серед гідрологічних чинників присвячено вивченню гідроенергетичного потенціалу річок і підземних вод, а також ймовірності прояву гідрологічних надзвичайних ситуацій.

Львівська область володіє суттєвим гідроенергетичним потенціалом щодо будівництва МГЕС, головно на річках у гірській і передкарпатській частині регіону. Понад половину потенціалу припадає на басейн річки Стрий (1 374,3 млн кВт·год, 56 %). Значний потенціал припадає на басейни річок Свіча (433,7 млн кВт·год, 18 %) й Опір (412,3 млн кВт·год, 17 %). На басейни інших річок припадає до 3 % потенціалу. Проте через важливу природоохоронну цінність річок, наявності об'єктів Смарагдової мережі існують екологічні обмеження щодо здійснення діяльності на них. Відповідно, практично всі річки в басейні річки Стрий та Опір неможливо використовувати у цілях малої гідроенергетики попри високий загальний гідроенергетичний потенціал.

Гідрологічні чинники мають визначальний вплив на розвиток зеленої водневої енергетики, оскільки для електролізу потрібні значні обсяги води.

Для інших об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області лише гідрологічні надзвичайні ситуації можуть мати негативний вплив, а за умов необґрунтованого вибору місцевості встановлення електростанції – навіть катастрофічний. Проаналізовано вплив катастрофічного паводку, що відбувся у червні 2020 р. на сонячні електростанції у долині річки Дністер. У наслідок цього паводку зазнала затоплення СЕС у м. Галич Івано-Франківської області. Аналогічні затоплення станцій можуть відбуватися у регіоні.

Рівнинна частина Львівської області зазнає значної шкоди від техногенних паводків, затоплення і підтоплення у Червоноградському гірничопромисловому районі, що зумовлені інтенсивним просіданням земної поверхні внаслідок шахтного розроблення покладів кам'яного вугілля. Під час вибору ділянки для будівництва об'єктів відновлюваної енергетики у регіоні варто враховувати зони потенційного затоплення і підтоплення території та розташовувати станції за межами заплав і низьких надзаплавних терас річок. *Ключові слова:* відновлювана енергетика, загальний гідроенергетичний потенціал, гідрологічні надзвичайні ситуації, паводок, повінь, екологічні обмеження.

Hydrological factors and their role in the renewable development in the Lviv region. Lopushanska M., Ivanov Ye.

The impact of hydrological factors on the development of renewable energy facilities in the Lviv region has been examined and analyzed. The study primarily focuses on hydrological factors such as the hydroenergy potential of rivers and groundwater, as well as the probability of occurrence of hydrological emergencies.

The Lviv region possesses significant hydroenergy potential for the construction of small hydropower plants (SHPs), primarily in the rivers in the mountainous and sub-Carpathian parts of the region. More than half of this potential is concentrated in the Striy River basin (1,374.3 million kWh, 56%). The Svicha (433.7 million kWh, 18%) and Opir (412.3 million kWh, 17%) river basins also have substantial potential. The potential for other river basins amounts to up to 3%. However, due to the considerable ecological value of these rivers and the existence of Emerald Network sites, there are ecological constraints on their use. Consequently, it is almost impossible to utilize practically all rivers in the Striy and Opir basins for small hydropower purposes, despite their high overall hydroenergy potential.

Hydrological factors have a decisive influence on the development of green hydrogen energy, as electrolysis requires substantial amounts of water.

For other renewable energy facilities in the Lviv region, only hydrological emergencies could have a negative impact, and in the case of an ill-considered choice of power plant location, even a catastrophic one. The impact of the catastrophic flood that occurred in June 2020 on solar power plants in the Dniester River valley was analyzed. As a result of this flood, the solar power plant in the city of Halych, Ivano-Frankivsk region, was inundated. Similar station inundations can occur in the region.

The flat part of the Lviv region suffers considerable damage from technogenic floods, inundations, and waterlogging in the Chervonograd mining industrial region, which are caused by intensive subsidence of the earth's surface due to coal mining. When choosing a site for the construction of renewable energy facilities in the region, it is advisable to consider zones of potential flooding and waterlogging and locate stations beyond floodplains and low floodplain terraces of rivers. *Key words:* renewable energy, overall hydroenergy potential, hydrological emergencies, flood, inundation, ecological constraints.

Постановка проблеми. Для забезпечення стійкого розвитку енергетики в Україні все частіше обговорюють питання переходу від традиційного «брудного» виробництва електроенергії з використанням викопного палива (вугілля, мазуту чи природного газу) на відновлювані джерела енергії.

Враховуючи наслідки масових підступних обстрілів росії по об'єктах енергетичної інфраструк-

тури України восени 2022 року, тимчасову окупацію або ведення активних бойових дій поруч з традиційними об'єктами енергетики у східних і південних областях, руйнування значних потужностей генерації, виникає потреба у диверсифікації та будівництві нових потужностей виробництва електроенергії в інших регіонах держави. Львівська область володіє високим потенціалом розвитку відновлюваних джерел енергії, зокрема щодо розвитку вітрової і малої гідроенергетики.

Актуальність дослідження. При виборі місця будівництва для об'єктів відновлюваної енергетики одним з важливих факторів виступають природні особливості території та екологічні обмеження, які можуть бути встановлені згідно чинного українського природоохоронного законодавства та міжнародних зобов'язань України. Навіть за умови високого рівня економічної доцільності будівництва об'єкта відновлюваної енергетики наявні екологічні обмеження (для прикладу в межах земель природно-заповідного фонду), таку діяльність здійснити неможливо. Водночас, слід врахувати значення гідрологічних чинників, зокрема, на будівництво та експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики у заплавах річок (за винятком малих гідроелектростанцій) через виникнення гідрологічних надзвичайних ситуацій, які можуть мати суттєвий негативний вплив на заплавні геосистеми.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У 2003 р. прийнято Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [1], у якому вказано, що до цих джерел відносять сонячну, вітрову і малу гідроенергетику. Як перспективний напрям відновлюваної енергетики розглядають зелену водневу енергетику. У 2023 р. схвалено «Енергетичну стратегію України на період до 2050 року» [2], в якій зазначається, що головними цілями України є забезпечення максимального рівня кліматичної нейтральності, а також розвиток альтернативних джерел енергії [3].

У Львівській області станом на 2022 рік встановлено та функціонує 2 231 об'єкти відновлюваної енергетики загальної потужністю 431,96 МВт, зокрема 72 промислові сонячні електростанції (СЕС), три промислові вітрові електростанції (ВЕС), три малі гідроелектростанції (МГЕС) та 2 151 сонячна електростанція приватних домогосподарств (СЕСдг), а також два об'єкти біоенергетики (БіоЕС) [4].

Гідрологічні чинники у регіоні найбільше впливають на розвиток мережі МГЕС. Проте, мають визначальний вплив для інших об'єктів відновлюваної енергетики у разі розміщення цих об'єктів на низькій чи високій заплавах річок, зокрема під час прояву надзвичайних гідрологічних ситуаціях (повеней, паводків, льодоходів тощо).

У статті проаналізовано вплив гідрологічних чинників на можливості розташування об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями гідрологічних умов Львівської області та гідроенергетичного потенціалу річок області займались науковці Львівського національного університету імені Івана Франка [5–8], Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу [9], Київського національного університету імені Тараса Шевченка [10], Інституту відновлюваної енергетики НАН України [11] та ін. Варто зазначити, що ефективно реалізують дослідження щодо техніко-економічних обґрунтувань будівництва об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області. Використано дані Львівської обласної державної (військової) адміністрації [4], а також джерела із інших українських та іноземних фахових видань.

Метою роботи є оцінювання впливу гідрологічних чинників на розвиток відновлюваної енергетики у Львівській області, а також визначення впливу надзвичайних гідрологічних ситуацій на вибір потенційних місць розміщення об'єктів для забезпечення максимальної ефективної роботи електростанції при мінімальному впливі на довкілля.

У попередніх статтях нами розглянуто особливості впливу геолого-геоморфологічних і кліматичних чинників на функціонування і розвиток об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області [12–14].

Новизна. Проаналізовано вплив гідрологічних чинників на розвиток об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області. На основі аналізу космознімків визначено потенційні зони підтоплення об'єктів відновлюваної енергетики у заплаві Дністра.

Методологічне значення. Для моделювання та аналізу впливу паводків на об'єкти відновлюваної енергетики використано космознімки *Sentinel-2 Level-2A* з роздільною здатністю 20 м. Ці зображення отримано з каталогу даних *Planetary Computer Sentinel-2 Level-2A*, який щодня оновлюється. На основі космознімків оцифровано межі русла річки Дністер в період активного паводку та звичне русло річки за умови середньої водності. Здійснено узагальнення зібраних геоданих та їхній аналіз та розглянуто гідрологічні чинники та їхній вплив на розвиток відновлюваної енергетики у Львівській області. Дослідження є важливим для визначення потенційних ділянок будівництва об'єктів відновлюваної енергетики з врахуванням гідрологічних чинників та екологічних обмежень.

Викладення основного матеріалу. У формуванні та подальшому розвитку мережі об'єктів відновлюваної енергетики у Львівській області важливу роль відіграють гідрологічні чинники, до яких відносять наявність поверхневих водних об'єктів, забезпеченість підземними водами та ймовірність виникнення гідрологічних надзвичайних ситуацій. Розглянемо детальніше для кожного із зазначених чинників та їх вплив на формування мережі об'єктів відновлюваної

енергетики у регіоні. Наявність поверхневих водних об'єктів має найбільший вплив на розвиток МГЕС, оскільки такі електростанції розміщені в межах русла річки, на греблях водосховищ тощо (табл. 1). У свою чергу наявність водних ресурсів у поверхневих чи підземних водозаборах є однією із важливих передумов розвитку зеленої водневої енергетики.

У разі розміщення об'єктів відновлюваної енергетики у заплавах річок ймовірний негативний вплив на навколишнє природне середовище під час прояву гідрологічних надзвичайних ситуацій, таких як повінь, паводок, льодохід тощо. У період маловоддя на МГЕС припустиме планове припинення роботи електростанції, аж до моменту забезпечення достатнього рівня води у річці. Для об'єктів біоенергетики водні ресурси необхідні для зрошення ділянок, де вирощуються енергетичні культури. Для біоустановок, які використовують для генерації теплової або електричної енергії використання води не передбачено технологічними процесами.

Детально розглянемо гідрологічні чинники і як він безпосередньо можуть впливати на об'єкти відновлюваної енергетики у Львівській області.

Поверхневі водні об'єкти. У межах Львівської області простягається Головний європейський вододіл, який розділяє річки Балтійського і Чорного морів. Загалом, у Львівській області нараховують 2 522 річки сумарною протяжністю 11 574,55 км, з яких понад половина (52 %) належить до басейну Дністра, 28 % – до басейну Західного Бугу, 12 % – басейну Сяну і 8 % до басейну Стира. Водночас, на території області налічується близько 30 озер, які головно використовують для риболовлі 20 водосховищ у басейнах Дністра (11), Західного Бугу (5) і Сяну (4) загальною площею водного дзеркала 3 288 га та понад 3 000 ставків, 54 % з них знаходяться у басейні Дністра [15, 16].

Перед початком будівництва об'єктів енергетики оцінюється їх потенціал. Оскільки, поверхневі водні об'єкти виступають важливим чинником у розвитку МГЕС, то для оцінювання гідроенергетичних ресурсів річки використовують показник гідроенергетичного потенціалу, який розраховують у кВт/год. на рік. Складовими такого потенціалу є природний (енергетичний еквівалент запасів гідравлічної енергії у водних об'єктах для малої гідроенергетики), технічний (частина природного потенціалу з урахуванням соціально-екологічних умов) та економічний (частина технічного потенціалу, що економічно доцільний у певний час) потенціали [17]. Водночас виділяють екологічний (екосистемний) гідроенергетичний потенціал, що входить до загального гідроенергетичного та враховує виключення при розрахунку потенціалу ділянок річок, використання яких неможливо через значний негативний вплив на річкові екосистеми [18].

При розрахунку загального гідроенергетичного потенціалу (ЗГП) річок варто враховувати й екосистемний потенціал і послуги, які здатна надавати річка. Проте, через відсутність методик обчислення їхньої вартості складно виразити у грошовому еквіваленті. Серед екосистемних послуг варто виділити [19]:

– *забезпечувальні* (якісна питна вода, продукти сільськогосподарського виробництва, риба, будівельний пісок і гравій);

– *культурні* (спортивна риболовля, туризм та рекреація, естетична тощо);

– *регулюючі* (здатність до самоочищення, регулювання якості повітря, малий кругообіг води, сезонне зволоження заплавних екосистем тощо);

– *підтримуючі* (аерація води, забезпечення сезонної міграції для водних організмів, рівень ґрунтових вод, підтримання високого біорізноманіття гідробіонтів тощо).

Згідно з даними програми «Енергетичної стратегії України до 2050 року» гідроенергетичний потенціал у Львівській області становить близько 0,6 млрд кВт год, а загальна встановлена потужність перспективних МГЕС становить близько 148 МВт [2].

У Львівській області показники загального гідроенергетичного потенціалу річок залежать від географічного розташування річки, а найбільші показники властиві для гірських річок басейну Дністра із високим показником середнього багаторічного стоку. Потенціал карпатських приток Дністра сконцентрований у басейнах річок Стрий, Свіча, Опір, Стрв'яж, Бистриця-Тисменицька, Тисмениця і Колодниця.

У досліджуваному регіоні загальний гідроекологічний потенціал становить 2 456,8 млн кВт·год

Таблиця 1

Вплив гідрологічних чинників на розвиток відновлюваної енергетики у Львівській області

Гідрологічний чинник	Сонячна енергетика	Вітрова енергетика	Мала гідроенергетика	Біоенергетика	Зелена воднева енергетика
Поверхневі водні об'єкти	–	–	+	+**	+
Підземні води	–	–	–	+**	+
Гідрологічні надзвичайні ситуації поверхневих вод	+*	+*	+	+*	+*

* у разі розміщення об'єкта у заплаві річок;

** використання води для зрошення полів, де вирощуються енергетичні культури

[20]. Понад половину ЗГП припадає на басейн річки Стрий (1 374,3 млн кВт·год, 56 %). Значний потенціал припадає на басейни річок Свіча (433,7 млн кВт·год, 18 %) й Опір (412,3 млн кВт·год, 17 %). На басейни інших річок припадає до 3 % ЗГП (рис. 1).

Через природоохоронну цінність карпатських приток та інші екологічні обмеження, зокрема наявність об'єктів Смарагдової мережі будівництво МГЕС практично неможливе [21].

2) Підземні води. Для розвитку зеленої водневої енергетики у регіоні як альтернативний варіант водопостачання розглядаються підземні водоносні горизонти. У разі зрошення полів для вирощування енергетичних культур для потреб біоенергетики можливе використання води із підземних горизонтів, проте їх поширеність незначна через вигідне географічне положення області щодо кліматичних умов.

Львівська область розміщена у межах трьох гідрогеологічних одиниць [16]: гірськоскладчастої області Карпат, Передкарпатського і Волино-Подільського (найбільш забезпечений водами) артезіанських басейнів. Більшість прісних вод, які є джерелами водопостачання населених пунктів регіону приурочені до четвертинних відкладів. Найменш забезпеченими прісними водами є південні райони (колишні Турківський, Старосамбірський, Самбірський і Сколівський), найбільш забезпечені – північні і північно-східні райони області (колишні Сокальський, Бродівський і Золочівський райони).

Як альтернативний варіант водопостачання електролізерів для потреб зеленої водневої енергетики варто розглядати супутньо-пластові води, оскільки у межах Більче-Волицької зони Передкарпаття, де розробляють газові родовища, у технологічному процесі підготовки свердловин викачуються значні обсяги високомінералізованої супутньо-пластової води, що не придатна для подальшого використання. Проте додаткове очищення цієї води потребує значних затрат для підприємств.

Гідрологічні надзвичайні ситуації. Близькість об'єктів відновлюваної енергетики і водних об'єктів не завжди має позитивний вплив на них, зокрема, це зумовлено високою ймовірністю виникнення надзвичайних ситуацій на водних об'єктах. Згідно ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій» до гідрологічних надзвичайних ситуацій належать [22]:

– надзвичайні ситуації, пов'язані з високим рівнем води (повінь, паводок);
– надзвичайні ситуації, пов'язані із затопленням;
– надзвичайні ситуації, пов'язані з маловоддям і посухою;
– надзвичайні ситуації, пов'язані із низьким рівнем води;
– надзвичайні ситуації, пов'язані із заторами, зажорами;
– надзвичайні ситуації, пов'язані із селем;
– надзвичайні ситуації, пов'язані із сходом снігових лавин;
– надзвичайні ситуації, пов'язана із раннім льодоставом та появою льоду на судноплавних водоймах та річках.

Розглянемо детальніше найпоширеніші гідрологічні надзвичайні ситуації, які зафіксовані у Львівській області та мали прямий або опосередкований вплив на об'єкти відновлюваної енергетики.

а) надзвичайні ситуації, пов'язані з високим рівнем води і затопленням. На всіх річках області спостерігається три підняття рівня води [15, 16]: весняна повінь,

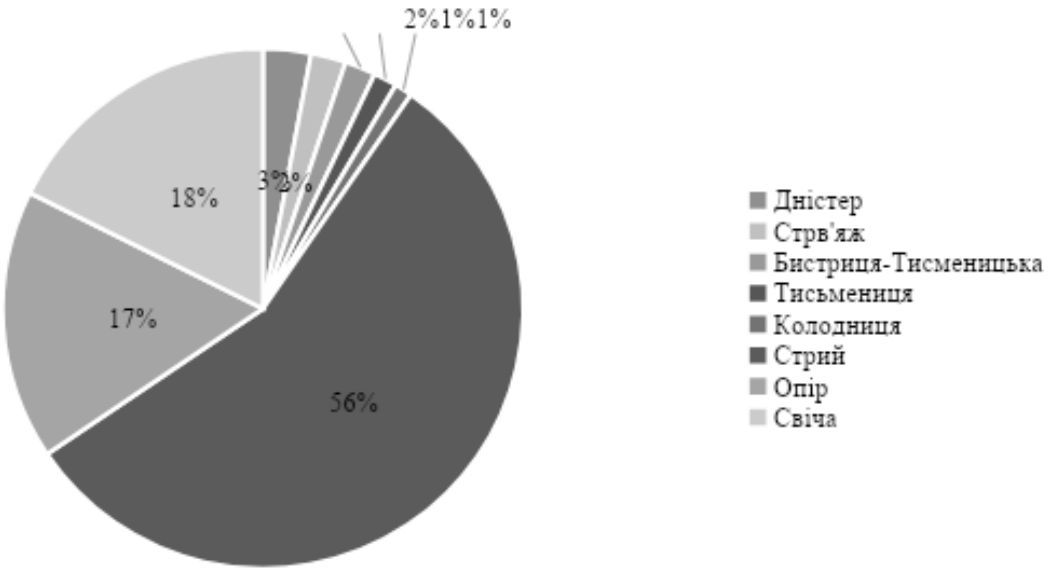


Рис. 1. Частка загального гідрологічного потенціалу басейнів карпатських приток Дністра у межах Львівської області (за даними [20])

спричинена таненням снігу (березень-квітень); літні паводки внаслідок випадання тривалих зливових опадів (червень-серпень); зимові підняття рівня води під час інтенсивних відлиг (грудень-лютий). Висока ймовірність виникнення гідрологічних надзвичайних ситуацій, які пов'язані з підняттям рівня води у басейнах річок Дністер, Стрий, Опір, Західний Буг, Нежухівка і Тисмениця, що зумовлені таненням льоду і снігу або випаданням зливових опадів.

Для аналізу впливу повеней і паводків на діючі об'єкти відновлюваної енергетики обрано чотири СЕС у заплаві річки Дністер (три – у Львівській області (Самбірські СЕС і СЕС-2, СЕС на гідровідвалі № 2 Роздільського ДГХП «Сірка») та одна – в Івано-Франківській області (СЕС на південний схід від Галича). Розглянемо наслідки виникнення гідрологічних надзвичайних ситуацій на прикладі паводку, який відбувся у червні 2020 р. Тоді дві станції у верхів'ї Дністра ледь не зазнали підтоплення, а СЕС у Галичі була повністю затоплена. Для моделювання впливу цього паводку на об'єкти сонячної енергетики використано космознімки Sentinel-2 Level-2A за 25 червня 2020 р. (12.30 год.) з роздільною здатністю 20 м. На основі космознімків оцифровано межі русла Дністра під час активного паводку та звичне русло річки за умови середньої водності у річці.

20–25 червня на річках Карпатського регіону України спостерігали високі дощові паводки з дуже небезпечними наслідками в межах Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Тернопільської і Чернівецької областей. Найбільше від паводкових вод постраждала Івано-Франківська область, на яку припадає близько 80 % негативних наслідків паводку [23]. У верхів'ї Дністра паводок не був наскільки катастрофічним, як у 2008 і 2010 роках.

Для аналізу потенційного підтоплення ділянок, де розташовані СЕС взято рівні води для гідрологічних постів, які найближчі до електростанцій, а також опрацьовано дані огляду погоди та стихійних гідрометеорологічних явищ за 2020 р. [23].

Поблизу із сонячними станціями Самбірські СЕС і СЕС-2 розташований гідрологічний пост р. Дністер – м. Самбір, де за багаторічними спостереженнями максимальний рівень води становив 740 см (паводок 2008 р.). Максимальний рівень води під час паводка у червні 2020 р. не перевищував 430 см. За таких умов ледь не потрапили у зону підтоплення Самбірські СЕС і СЕС-2. За умови підняття рівня води понад 500 см зростає ймовірність затоплення сонячних електростанцій, оскільки у межах їх розташування переважає рівнинний рельєф з незначним ухилом у бік річки (рис. 2а).

Для СЕС на гідровідвалі № 2 Роздільського ДГХП «Сірка» властива власна специфіка розташування, оскільки гідровідвал припіднятий над рівнем заплави Дністра. Найближчим до СЕС є гідрологічний пост на р. Дністер – смт. Розділ, на якому максимальний рівень води паводка у червні 2020 р. не перевищував 390 см. За таких умов русло річки практично не зазнало змін у порівнянні із руслом за умови середньої водності у річці. За умови підняття рівня води до максимально фіксованого рівня води у річці 520 см (2008 р.) ймовірність затоплення сонячної станції відсутня, оскільки вона розташована на гідровідвалі з перевищенням над рівнем річки Дністер понад 10 м (рис. 2б).

Найбличим до СЕС у Галичі є гідрологічний пост на р. Дністер – м. Галич. Паводок у червні 2020 р. мав катастрофічні наслідки для міста та його околиць. Максимальний рівень води у р. Дністер під час паводку становив 750 м, проте цей показник нижчий, ніж під час паводку 2008 р. Розлив річки Дністер призвів до повного затоплення СЕС (рис. 3, 4).

Для північної частини Львівської області властиве затоплення і підтоплення територій через надзвичайні ситуації, пов'язані із підняттям рівня поверхневих і ґрунтових вод. Ці процеси зумовлені просіданням земної поверхні внаслідок активного підземного розроблення вугілля [24]. Так, у серпні 2006 р. у місті Червоноград через зливові опади у пониженнях і ділянках сповільненого місцевого стоку та підвищення рівня ґрунтових вод сталось підтоплення, зокрема житлових будинків та присадибних ділянок [16].

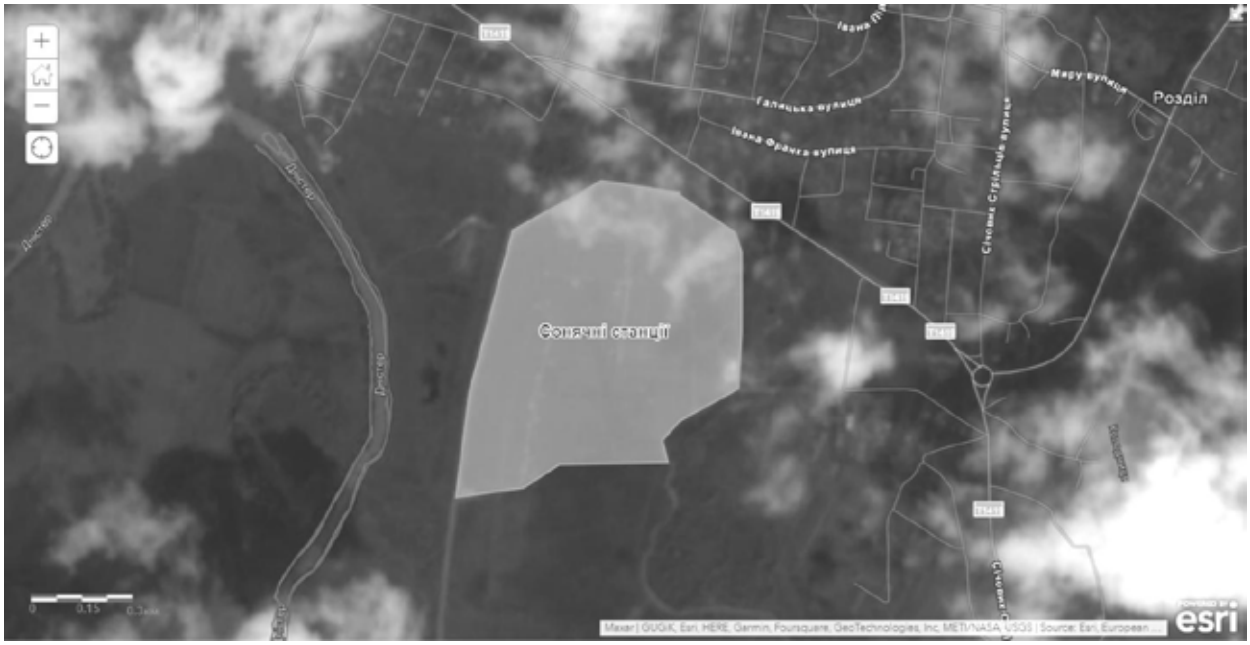
До слабко трансформованих територій внаслідок просідання земної поверхні відносять площі міст Червоноград, Соснівка і селища Гірник. Високі значення явищ просідання зафіксовано у долинах річок Західний Буг і Рата. Максимальні значення цих процесів спостерігають в межах шахтних полів ліквідованої шахти № 5 «Великомостівська» і шахти «Межирічанська», де місцями можуть перевищувати 3,2−3,5 м [25].

Б) надзвичайна ситуація, пов'язана із заторами, зажорами. Найяскравішим прикладом надзвичайної ситуації, яка пов'язана із затором був льодохід на р. Стрий у лютому 2010 р. Згідно з даними Державної служби з надзвичайних ситуацій, у період з 20 по 25 лютого 2010 р. велись роботи із звільнення русла річки на ділянці м. Турка – Явірська МГЕС, від льодового покриву, для того, щоб пропустити льодохід та не допустити створення заторів. Піротехніки вибуховим методом пробили канал (рис. 5) [26].

Висновки. Пропонуємо на розгляд такі головні висновки:

1. Гідрологічні чинники відіграють важливу роль у функціонуванні та розвитку відновлюваної енергетики у Львівській області, зокрема наявність поверхневих водних об'єктів є головним чинником формування мережі МГЕС, а близькість водних об'єктів підчас виникнення гідрологічних надзвичайних ситуацій може мати негативні, інколи катастрофічні, наслідки для окремих об'єктів відновлюваної енергетики у регіоні. Цей чинник відіграватиме важливе значення на розміщення об'єктів зеленої водневої енергетики у майбутньому.

а)



б)

Рис. 2. Межі паводку на річці Дністер на ділянках м. Самбір – с. Ралівка (а) і с. Крупсько – смт Розділ (б) (на основі дешифрування космознімків Sentinel-2 Level 2A від 25 червня 2020 р.)

2. Згідно з даними загального гідрологічного потенціалу для розміщення МГЕС найкращими ділянками є правобережні карпатські притоки Дністра, однак враховуючи природоохоронну цінність та екологічні обмеження, зокрема наявність об'єктів Смарагдової мережі, реалізація таких станцій практично неможлива [21]. Попри високий потенціал, ця діяльність матиме негативний вплив на річкові заплави і низькі надзаплавні тераси, а також екосистемні послуги, які надають водотоки.

3. Найоптимальнішими площами для розміщення об'єктів відновлюваної енергетики у досліджуваному регіоні вважаємо ділянки за межами заплави і першої надзаплавної тераси карпатських річок, а також територій, які можуть потенційно підтоплені під час повеней і паводків. Важливо враховувати природоохоронні обмеження для водних об'єктів, що розміщені у Львівській області під час обґрунтування будівництва об'єктів відновлюваної енергетики.

а)

б)

Рис. 3. Наслідки паводку у районі м. Галич: а) русло р. Дністер за середньої водності; б) затоплення долини річки під час паводку (на основі космознімків Sentinel-2 Level 2A)

Рис. 4. Наслідки паводку на річці Дністер у м. Галич та околицях (Світлина: mvs.gov.ua)

а)

б)

Рис. 5. Льодовий покрив на р. Стрий: а) звільнення русла річки від льоду [26]; б) льодохід після підриву у верхньому б'єфі Явірської МГЕС [27]

Література

1. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 р. № 555-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 24. ст. 155. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text
2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2023 р. № 373-р / Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text
3. Енергетична стратегія / Міністерство енергетики України. URL: https:// www.mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya
4. Новітні виклики для територіальних громад Львівської області в сфері ЖКГ. Діючі програми підтримки енергозберігаючих та енергоефективних заходів у Львівській області. URL: https://decentralization.gov.ua/uploads/ attachment/document/1046/1. Новітні_виклики.pdf
5. Андрейчук Ю., Крута Н., Пилипович О. Річкова мережа. *Львівська область: природні умови та ресурси*: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: В-во Ст. Лева, 2018. 592 с.
6. Михнович А. Екологічні наслідки ліквідації невисоких дамб і спускання водосховищ. *Ресурси природних вод Карпатського регіону: Проблеми охорони та раціонального використання*: матер. 18-ої міжнарод. наук.-практ. конф. Львів: ЛвДЦНІІ, 2019. С. 88–95.
7. Михнович А., Химочка Г. Вплив на довкілля реалізації протипаводкових заходів на річці Дністер в районі м. Самбір (Львівська область). *Ресурси природних вод Карпатського регіону: Проблеми охорони та раціонального використання*: матер. 17-ої міжнарод. наук.-практ. конф. Львів: НУ «Львівська Політехніка», 2017. С. 46–55.
8. Пилипович О. В., Ковальчук І. П. Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра: монографія / за наук. ред. І. П. Ковальчука. Львів–Київ: ЛНУ ім. І. Франка, 2017. 284 с.
9. Адаменко О. Про причини та наслідки паводків у долині Дністра. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр.* 2014. Вип. 48. С. 141–149. DOI: http://dx.doi.org/ 10.30970/vgg.2014.48.1302
10. Почаєвець О. О., Розлач З. В. Паводки на річках басейну Стрия та їх вплив на морфологічні зміни русел. *Меліорація і водне господарство.* 2014. Вип. 101. С. 259–272. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mivg_2014_101_32
11. Васько П. Ф., Мороз А. В. Потенціал використання гідроенергетичних ресурсів основних малих річок України. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 3 (46). С. 50–56.
12. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А. Вплив карстових процесів на об'єкти відновлюваної енергетики у Львівській області. *Сталий розвиток: захист навкол. середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*: VIII-ий Міжнарод. молодіжн. конгрес. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2023. С. 93.
13. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А. Кліматичні чинники та їхня роль у розвитку сонячної енергетики у Львівській області. *Екологічні науки*. 2022. № 6 (45). С. 54–59. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.9
14. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А. Сейсмічні явища та їх вплив на розвиток відновлюваної енергетики у Львівській області. *Географічна освіта і наука: виклики і поступ*: матер. міжнарод. наук.-практ. конф. Львів: Простір-М, 2023. Т. 3. С. 61–65.
15. Геоекологія Львівської області: монографія / Ю. Андрейчук, Л. Безручко, В. Біланюк та ін. / за заг. ред. Є. Іванова. Львів: Простір-М, 2021. 606 с.
16. Львівська область: природні умови та ресурси: монографія / за заг. ред. д-ра геогр. наук, проф. М. М. Назарука. Львів: В-во Старого Лева, 2018. 592 с.
17. ДСТУ 7501:2014. Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page? id_doc=77817
18. Гідроенергетичний потенціал річок України: розвінчання міфів: аналіт. документ / Р. Б. Гаврилюк, Г. К. Веремійчик та ін. К.: Фенікс, 2018. 32 с.
19. Екосистемні послуги гірських річок Українських Карпат / О. Станкевич-Волосянчук, Р. Гаврилюк, В. Шаравара. Ужгород: РІК-У, 2019. 32 с.
20. Ободовський О., Данько К., Почаєвець О., Ободовський Ю. Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат). *Вісн. Київ. націон. ун-ту ім. Т. Шевченка*. 2016. Вип. 1 (64). С. 5–12.
21. Ivanov Ye., Lopushanska M., Teslovych M. Environmental restrictions of planning the construction of renewable energy facilities in the Lviv region. *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2022»* (October 3–5, 2022, Lviv, Ukraine). DOI: https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590068
22. Національний класифікатор. ДК 019:2010 «Класифікатор надзвичайних ситуацій» / Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text
23. Огляд погоди та стихійних гідрометеорологічних явищ на території України за 2020 рік. Дані Українського гідрометеорологічного центру загального користування / Єдиний державний веб-портал відкритих даних; Міністерство цифрової трансформації України. URL: https://data.gov.ua/dataset/ec1c9a7d-643d-455d-836a-2e411e83da43
24. Іванов Є., Ковальчук І., Лобанська Н., Терещук О. Аналіз структури землекористування і прояву небезпечних природно-антропогенних процесів в межах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну за допомогою ГІС-технологій. Наук. зап. Тернопіл. націон. педагог. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер.: Геогр. Спец. вип. Стале природокористування : підходи, проблеми, перспектива. 2010. № 1 (Вип. 27). С. 182–189.
25. Іванов Є., Кобелька М. Сучасний стан та інтенсивність розвитку процесів просідання і підтоплення в межах Червоноградського гірничопромислового району. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр*. 2006. Вип. 33. С. 112–121.
26. Кілька днів на Львівщині лунали потужні вибухи: то бійці спецзагону МНС із Дрогобича рятували від затоплення Турківський район. Державна служба України з надзвичайних ситуацій: офіційний сайт. URL: https:// dsns.gov.ua/news/ostanni-novini/13737
27. Льодохід в Карпатах. Повінь. URL: https://youtu.be/-zbZRsPHQXU

УДК 504.054:66.098
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.15

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС БІОРЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ

Наконечний І.В., Літвак О.А., Літвак С.М., Маринець О.М.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр. Героїв України, 9, 54007, м. Миколаїв
ihor.nakonechnyi@nuos.edu.ua, olya.litvak@gmail.com,
sergiy.litvak@nuos.edu.ua, marinets.aleks@gmail.com

Для зниження несприятливих впливів нафтового забруднення на навколишнє середовище необхідне знання закономірностей біохімічної трансформації забруднюючих речовин у різних природних умовах, прогноз їхньої зміни в часі та в просторі, наукове обґрунтування заходів щодо відновлення забруднених ґрунтів, з урахуванням вимог екологічної безпеки. Тому дедалі більшої актуальності набувають біологічні методи, які є екологічно безпечними та відносно недорогими. При цьому біологічні методи дають змогу не тільки знизити початкову концентрацію вуглеводнів, а й активізувати метаболічний потенціал біологічних компонентів ґрунтових екосистем. Мета дослідження полягає в визначенні основних чинників, що мають значний вплив на обґрунтування та ефективність технологічного процесу біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Обґрунтовано, що головний раціональний принцип відновлення забрудненої екосистеми – це створення оптимальних умов, в яких екосистема буде сама прагнути до відновлення функцій складових компонентів і зв'язків між ними. В результаті важливо розуміти роль біологічних чинників (кількість, тип і склад популяцій мікроорганізмів, форми симбіотичних взаємин тощо) та фізико-хімічних чинників (температура, pH ґрунту, аерація, окисно-відновний потенціал, поживні речовини у ґрунті, фізико-хімічні властивості забруднювачів, їх здатність до біорозкладання) для ефективного видалення вуглеводнів. Тому виникає необхідність у проведенні попереднього обстеження забрудненої ділянки для уточнення технологічних режимів з урахуванням зазначених чинників для забезпечення успішного росту та метаболізму мікроорганізмів. Ці чинники особливо важливі у випадку біоремедіації *in situ*. Деякі з них можна певним чином оптимізувати та врегулювати для більш повного використання потенціалу біодеградації забруднень. Визначено важливість майбутніх досліджень, спрямованих на створення консорціумів мікроорганізмів, які здатні впливати на широкий спектр вуглеводнів, включаючи ароматичні поліциклічні вуглеводні, смоли та асфальтени. Це відповідним чином буде сприяти підвищенню ефективності та прискоренню процесу біоремедіації. *Ключові слова:* забруднення ґрунтів, нафтопродукти, біологічні методи, біоремедіація, мікроорганізми, біологічні чинники, фізико-хімічні чинники.

Analysis of factors influencing the process of bioremediation of soils contaminated with oil products. Nakonechnyi I., Litvak O., Litvak S., Marynets O.
To reduce the adverse environmental impacts of oil pollution, it is necessary to know the patterns of biochemical transformation of pollutants in different natural conditions, forecast their changes in time and space, and provide scientific justification for measures to restore contaminated soils, taking into account the requirements of environmental safety. Therefore, biological methods, which are environmentally friendly and relatively inexpensive, are becoming increasingly relevant. At the same time, biological methods allow not only to reduce the initial concentration of hydrocarbons, but also to activate the metabolic potential of biological components of soil ecosystems. The aim of the study is to identify the main factors that have a significant impact on the justification and efficiency of the technological process of bioremediation of soils contaminated with oil products. It is substantiated that the main rational principle of restoring a contaminated ecosystem is to create optimal conditions under which the ecosystem itself will strive to restore the functions of its components and the links between them. As a result, it is important to understand the role of biological factors (number, type and composition of microbial populations, forms of symbiotic relationships, etc.) and physical and chemical factors (temperature, soil pH, aeration, redox potential, nutrients in the soil, physical and chemical properties of pollutants, their ability to biodegrade) for effective hydrocarbon removal. Therefore, there is a need to conduct a preliminary survey of the contaminated area to clarify the technological regimes, taking into account these factors to ensure successful growth and metabolism of microorganisms. These factors are especially important in the case of *in situ* bioremediation. Some of them can be optimised and regulated in a certain way to make fuller use of the potential of pollution biodegradation. The importance of future research aimed at creating consortia of microorganisms that can affect a wide range of hydrocarbons, including aromatic polycyclic hydrocarbons, resins and asphaltenes, is identified. This will accordingly increase the efficiency and accelerate the bioremediation process. *Key words:* soil contamination, oil products, biological methods, bioremediation, microorganisms, biological factors, physical and chemical factors.

Постановка проблеми. Одним з важливих компонентів природного середовища є ґрунт. Це сфера, де екологічні чинники мають вирішальний вплив на зміну складу та властивостей самого ґрунту, а також на чисельність мікроорганізмів у ньому. Незважаючи на те, що ґрунтовий покрив має значні резерви стійкості та саморегуляції, він надзвичайно чутливий до антропогенного впливу. Швидкість і ступінь взаємодії ґрунтів із навколишнім середовищем постійно збільшується, що сильно змінює їх фізичні та біологічні властивості. Результатом є зниження біорізноманіття, погіршення функціонування природних екосистем.

Забруднення ґрунтів часто пов'язане з використанням сирої нафти та продуктів її переробки, таких як бензин, дизельне паливо, мінеральні мастила. Відмінною особливістю нафтового забруднення від інших антропогенних впливів є те, що воно створює миттєве навантаження на компоненти екосистеми, викликаючи такі ж швидкі реакції, пов'язані з біодеградацією екосистеми [1]. Джерела потенційного забруднення ґрунту загалом можна розділити на дві групи:

– об'єкти, що становлять ризик довгострокового забруднення (нафтотранспортні трубопроводи, нафтопереробні та хімічні заводи, автозаправні станції, маршрути курсування наземного транспорту, обладнання для видобутку нафти тощо);

– аварійні розливи нафти, що дають максимальне одноразове навантаження на ґрунтові екосистеми. Однією з найпоширеніших причин розливів нафти є аварії під час видобутку, зберігання та транспортування сировини. Випадкові аварії можуть бути спричинені спробами крадіжки палива, стихійними лихами або локальними збройними конфліктами. Колишні і теперішні військові полігони, також є великою проблемою. Джерелом забруднення цих територій найчастіше є незахищені і технічно неконтрольовані сховища пального [2].

Випадкові аварійні розливи нафти потребують вжиття термінових заходів для їх ліквідації, залучення спеціальної техніки, технології, значної кількості працівників. Ліквідація цього виду забруднення, як правило, поділяється на два етапи: перший – збір нафти, що розлилася, другий – доочищення території від забруднювача, який залишився.

При поступовому багаторічному забрудненні грунту нафта і нафтопродукти потрапляють углиб, порушуючи сформовану екологічну рівновагу. У разі проникнення в глибші горизонти відбувається забруднення ґрунтових вод, а за певних умов – утворення техногенних скупчень вуглеводнів. Органогенна природа нафтового забруднення спричиняє зміну геохімічних, агрохімічних, фізико-хімічних характеристик, активності ґрунтового біоценозу, газового режиму ґрунтів. Такі зміни можуть бути незворотними і настільки серйозними, що іноді під сумнів ставиться перспектива повернення екосистеми до її стійкого колишнього стану [3]. У разі незначного порушення цих параметрів, порівняно з фоном, зростає ймовірність відновлення ґрунтами екологічної рівноваги шляхом самоочищення або застосування технологій ремедіації.

Актуальність дослідження. Для зниження несприятливих впливів нафтового забруднення на навколишнє середовище необхідне знання закономірностей біохімічної трансформації забруднюючих речовин у різних природних умовах, прогноз їхньої зміни в часі та в просторі, наукове обґрунтування заходів щодо знешкодження нафтозабруднених територій з урахуванням вимог екологічної безпеки.

Однак на сьогодні не існує універсального методу з відновлення порушеної екосистеми, оскільки забруднювачі мають різну структурну форму та різне джерело походження, тобто для їх усунення потрібні індивідуальні методи і технології з обробки та утилізації. У світовій практиці для очищення довкілля від вуглеводнів нафти використовують переважно механічні, термічні, фізико-хімічні та хімічні методи (спалювання, екскавація пластів грунту з подальшим складуванням, механічна ізоляція, високотемпературна екстракція, промивання, обробка електричним струмом, екстракція розчинниками, окисно-відновні реакції) [4]. Особливо небажаними є методи, пов'язані з переміщенням нафтозабруднених субстратів. До основних недоліків усіх перелічених вище методів належать їхня висока вартість, потреба в складному обладнанні, можливість забруднення субстратів промивними розчинами і знищення аборигенної біоти, що перешкоджає здійсненню процесів самоочищення.

З біологічної та екологічної точки зору основним недоліком механічних, хімічних і фізико-хімічних методів ліквідації нафтового забруднення ґрунтів є або пригнічення, або повне знищення біотичного потенціалу ґрунтової екосистеми. Для відновлення нафтозабруднених ґрунтів кращими є методи, засновані на використанні біотичного потенціалу біологічних об'єктів. Активізація діяльності мікрофлори, здатної до окислення вуглеводнів нафти, а також створення оптимальних умов для її життєдіяльності та зростання, збільшення метаболічного потенціалу субстратів дає змогу проводити спрямований і керований процес біодеградації нафти **[**5**]**.

Тому дедалі більшої актуальності набувають біологічні методи, які є екологічно безпечними та відносно недорогими. При цьому біологічні методи дають змогу не тільки знизити початкову концентрацію вуглеводнів, а й активізувати метаболічний потенціал біологічних компонентів ґрунтових екосистем. Для прискорення процесу самоочищення ґрунтів від нафти використовуються всі природні резерви екосистеми, зокрема й біологічні. Біологічні методи очищення грунтів здатні доповнювати різні технології відновлення забруднених грунтів, а у певних ситуаціях їм немає аналогів [6].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Обмеженість земельних ресурсів ставить невідкладне завдання повернення у господарське використання порушених та деградованих ґрунтів. Організація Об'єднаних Націй розробила кілька глобальних ініціатив щодо покращення стану ґрунтів на планеті, в тому числі було оголошено загальносвітову програму дій «Десятиліття ООН з відновлення екосистем» (2021–2030 роки) [7]. Ця програма передбачає відновлення наземних, прибережних та морських екосистем, включаючи просування стійких методів управління ґрунтами.

Для України ця проблеми ще більш загострилася в умовах воєнного стану, коли економічні, екологічні й соціальні питання продовольчого забезпечення України та світу значно ускладнилися. Одним із цих викликів є істотне посилення й до того актуальної проблеми деградації земель і ґрунтів, спричинене збройною агресією. Ґрунтові ресурси України зазнають масштабної руйнації, погіршення якості, посилення процесів деградації [8]. У грунти проникають важкі метали, залишки пального та хімікатів від боєприпасів та ракет [9].

Враховуючи всю серйозність та небезпеку ситуації, що склалася в Україні, вже зараз потрібна активізація наукових досліджень і пошук шляхів вирішення проблеми забруднення ґрунтів внаслідок війни, розробка комплексу заходів, впровадження яких дозволить мінімізувати наслідки воєнних дій у подальші роки. Це вимагатиме значних зусиль і це не буде універсальним рішенням [10]. Однією з можливостей для вилучення певних токсичних хімічних речовин, їх знешкодження та реабілітації пошкоджених війною ґрунтів є використання біологічних методів – біоремедіації та фіторемедіації.

Вирішення проблеми відновлення ґрунту за допомогою екологічно безпечних біологічних методів має вирішальне значення для забезпечення продовольчої безпеки та благополуччя майбутніх поколінь**.**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зіткнувшись із серйозними екологічними проблемами, пов’язаними із забрудненням ґрунту нафтою, дедалі більша увага приділяється розробці та впровадженню інноваційних технологій видалення нафти з ґрунту. Проблемам підвищення рівня екологічної безпеки паливно-енергетичного комплексу України присвячено праці таких науковців, як: Л.Я. Побережний, О.М. Мандрик, Я.М. Семчук, Б.О. Клюк, О.М. Адаменко, П.Г. Дригулич, О.І. Романюк. Питання розробки та впровадження сучасних методів та технологій ліквідації нафтових забруднень та відновлення ґрунтів висвітлені в роботах Н.М. Гринчишина, Л.З. Шевчик, О.І. Терек, Н.М. Джури та інших вчених.

В останні роки було проведено багато лабораторних і польових досліджень для розробки методів ремедіації, які можуть ефективно видаляти нафтове забруднення з ґрунту. Біологічні методи, які включають використання рослин і мікроорганізмів для видалення забруднень із навколишнього середовища, привернули значну увагу як найбільш перспективні методи очищення нафтових розливів. Незважаючи на те, що це вимагає більше часу, методи біоремедіації та фіторемедіації, завдяки їхньому екологічно безпечному підходу, економічній доцільності, відсутності вторинного забрудненя та досить високій ефективні для відновлення забрудненого ґрунту, наразі широко відомі та мають практичне застосування [11, 12, 13].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Вибір методу очищення нафтозабруднених ґрунтів повинен проводитися з урахуванням особливостей самого забруднення (типу нафти, давності, площі забруднення, рельєфу), а також з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов регіону. Тому виявлення ключових чинників та механізмів, що впливають на швидкість деградації забруднювачів, для подальшої розробки високоефективної екологічно безпечної технології відновлення ґрунтів є проблемою, яка потребує подальших досліджень.

Новизна дослідження полягає в визначенні основних чинників, що мають значний вплив на обґрунтування та ефективність технологічного процесу біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами.

Методологічне та загальнонаукове значення. Нафта являє собою складну багатокомпонентну систему, що складається в основному з вуглеводнів різної будови, таких як алкани, циклоалкани, ароматичні сполуки (бензол, толуол, етилбензол, ксилол), поліциклічні ароматичні сполуки (нафталін, фенантрен, антрацен, бенз(а)пірен), смоли, асфальтени, азотовмісні сполуки. Конкретний склад залежить від геологічного віку, розташування та глибини нафтового родовища. Після переробки сирої нафти одержувані продукти набувають нових фізико-хімічних властивостей, що збільшує їх складність і може перешкоджати їх біорозкладанню [14].

Важливою характеристикою нафти є співвідношення в ній легких і важких фракцій. Підвищену токсичність для мешканців ґрунту становлять легкі фракції нафти, але вплив їх короткочасний. Легкі фракції швидко розкладаються мікробними деструкторами або мігрують із ґрунту. А важкі фракції нафти є малорухливими, тому створюються сталі осередки забруднення. Компоненти нафти, такі як смоли, асфальтени, парафіни, закупорюють пори та канали ґрунту і зв’язують ґрунтові частинки, граючи роль цементу [15].

Грунт покривається нафтовою плівкою і забарвлення ґрунтового профілю змінюється на сіре та темно-коричневе. Зміна кольору призводить до зниження світловідбиваючих властивостей ґрунту, що сприяє більш ефективному прогріву таких ґрунтів. Частинки ґрунту, покриті гідрофобними плівками високомолекулярних компонентів нафти, втрачають здатність поглинати та утримувати вологу. Це призводить до значної втрати провідності та ємності води. В результаті сильно підвищеної гідрофобності, верхні забруднені шари висихають, а чистіші нижні шари страждають від надмірної вологості, що призводить до неправильних повітряно-водних умов і розвитку анаеробних процесів [16].

У більшості проведених досліджень виявлено, що під впливом важких фракцій нафти у багатьох рослин проявляються різні виражені аноma-

лії, як у біологічних, так і в морфологічних змінах. Прикладом таких ознак рослин можуть бути, як карликовість, викривлення стебел, скручування листя. Поясненнями таких змін є накопичення в клітинах рослин поліциклічних ароматичних вуглеводнів, що мають канцерогенні та мутаційні властивості [17].

Таким чином, забруднення вуглеводнями призводить до погіршення функціонування екосистеми, її живих і неживих компонентів. Ґрунти вважаються забрудненими нафтою та нафтопродуктами, якщо їх концентрація досягає рівня, при якому: починається пригнічення або деградація рослинного покриву; скорочується якісний та кількісний склад ґрунтових мікроорганізмів та безхребетних тварин; відбувається вимивання нафти та нафтопродуктів із ґрунтів у підземні або поверхневі води. Деградація поверхневого біологічно активного шару грунту може мати декілька ступенів, що наведені в табл. 1.

При низькому та помірному ступені деградації відновлення властивостей ґрунтів може бути проведено шляхом активізації процесів самоочищення агротехнічними прийомами (поверхневою обробкою та глибоким розпушуванням, внесенням добрив тощо). При високому та дуже високому ступені деградації ґрунтів нафтове забруднення може бути ліквідовано шляхом проведення спеціальних заходів, що сприяють створенню аеробних умов та активізації вуглеводневих процесів. Отже, ремедіації підлягають ґрунти, забруднені нафтовими речовинами настільки, що вони обмежують вегетацію рослин або погіршують їх харчові чи технологічні якості [19].

Заходи по відновленню ґрунтового середовища, тобто його ремедіації, полягають у видаленні забруднюючих речовин і поновленні первісних фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту. Тоді як проблему нейтралізації екологічно шкідливих забруднювачів можна вирішити за допомогою різноманітних фізико-хімічних методів, повна реконструкція умов природного середовища досягається лише за допомогою біологічних технологій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Значну роль у процесах очищення ґрунтів від нафти та нафтопродуктів грають мікроорганізми. Оскільки представники мікрофлори мають високу метаболічну активність, то, очевидно, що дана форма життя здатна знешкоджувати забруднення. Тому нині дедалі більше уваги приділяється дослідженню методів ремедіації, заснованих на застосуванні чистих чи змішаних культур мікроорганізмів.

Біоремедіація – це процес, в результаті якого нафтопродукти розкладаються мікроорганізмами за допомогою ферментативних реакцій, що перетворюють їх на вуглекислий газ, біомасу та водорозчинні сполуки [20]. Порівняно з іншими живими організмами, мікроорганізми можуть успішно розвиватися в широкому діапазоні природно-техногенних умов та мають унікальну здатність адаптуватися до нових умов навколишнього середовища.

Найважливішою умовою старту процесу біоремедіації є ліквідація поверхневого нафтового бар'єру, а також зниження загальної концентрації нафти в грунті до рівня, який забезпечує життєдіяльність живих організмів у ґрунті. На ділянках із застарілими забрудненнями більш висока ймовірність адаптації біоти до полютантів, появи організмів, стійких до них, здатних трансформувати та розкладати їх. Тому при застарілих забрудненнях доцільні методи біологічної очистки, засновані на стимулюванні активності аборигенних мікроорганізмів-деструкторів.

Підходи до біоремедіації зазвичай класифікуються як *in situ* та *ex situ*. Біоремедіація *in situ* передбачає обробку забрудненого матеріалу на місці, тоді як *ex situ* передбачає видалення забрудненого матеріалу для обробки в іншому місці в контрольованих умовах. Крім того, швидкість біодеградації та постійність результатів процесу відрізняються між методами біоремедіації *in situ* та *ex situ*.

Методам *in situ* віддають перевагу, коли неможливо видалити забруднений ґрунт, наприклад, на ділянках, призначених для будівництва, на ділянках протипожежних насипів, доріг, локальних провалів під трубопроводами і установок, забруднення великих територій тощо. Використання способів очищення *in situ* найбільш ефективне, якщо забруднення розчинне у воді та біодоступне, і ґрунти мають високу проникність та гомогенність. У ряді випадків методи *in situ* дозволяють продовжувати використання території, що містить забруднені зони безпосередньо в ході ремедіаційних заходів [21]. Методи

Таблиця 1

Ступінь деградації біологічно активного шару ґрунту, забрудненого нафтопродуктами [18]

Ступінь деградації	Процеси, що відбуваються з рослинністю
Низький	Відсутність негативного впливу на природну рослинність з можливим вмістом вуглеводнів у поверхневому шарі ґрунту.
Середній	Точкове відмирання трав'янистої рослинності, явне ослаблення росту та розвитку культур.
Високий	Часткове відмирання трав'янистої рослинності, зниження врожайності приблизно на 50%.
Дуже високий	Зникнення або повне зникнення трав'янистої рослинності, неможливість вегетації сільськогосподарських культур без застосування меліоративних заходів

in situ складно застосовувати для очищення ґрунтів від біологічно стійких, нелетких та нерозчинних сполук, якими є, наприклад, бензпірени, важкі метали та радіонукліди. Ліквідація забруднення за допомогою цього методу вимагає знання геологічної структури ґрунту, розподілу забруднення та напрямку руху ґрунтових вод.

Методи *ex situ* використовуються для свіжих забруднень, які характеризуються відносно високою концентрацією, а також якщо об'єм або територія забрудненої зони невеликі. Такий підхід перешкоджає поширенню забруднення, і перш за все, його проникненню в ґрунтові води [22]. Ці методи забезпечують можливість створення оптимальних умов для очищення та прискорюють ремедіацію, проте вимагають додаткових витрат на збирання, складування та обробку матеріалу.

Технології біологічного очищення *ex situ* включають: біовентилювання, обробіток ґрунту в біореакторах, компостування. Біотехнології, які можуть бути проведені як *ex situ* так *in situ*, включають біостимуляцію та біоаугментацію.

Біостимуляція є однією з основних стратегій біоремедіації для знешкодження забрудненого нафтою ґрунту, при якій за допомогою регулювання умов довкілля (температура, вологість, pH, окисно-відновний потенціал, аерація, мінеральне живлення) посилюється ріст та метаболічна активність місцевих популяцій мікроорганізмів, які розкладають нафту [23].

Біоаугментація – стратегія біоремедіації, при якій застосовується інокуляція екзогенних мікроорганізмів у забруднені ґрунти для розкладання цільових забруднювачів [24]. Інокульований мікроорганізм може бути одним штамом або консорціумом мікробних штамів з різною здатністю до функціонального розкладання.

Ефективність використання тих чи інших методів ремедіації визначається насамперед цілями та завданнями очищення та залежить від локальних чинників, таких як, ґрунтово-кліматичні умови, фізико-хімічні властивості забрудненого середовища, характеру та рівня забруднень, рівня технічних та екологічних вимог до ремедіаційних робіт (рис. 1).

Рис. 1. Групи чинників, які мають вплив на процеси біологічного розкладання забруднюючих речовин у ґрунті

Технологія біоремедіації коректуються та модифікуються в залежності від індивідуальних особливостей місця забруднення та властивостей забруднювача, тому перед початком біологічного очищення важливо оцінити біологічні та фізико-хімічні чинники, які мають значний вплив на успішне проходження процесів очищення грунтів та визначити комплекс заходів для підвищення ефективності технології відновлення ґрунту. Ці чинники особливо важливі у випадку біоремедіації *in situ*. Деякі з цих чинників можна значною мірою оптимізувати та врегулювати, що буде сприяти повному використанню потенціалу біодеградації забруднень (табл. 2).

Щільність популяції мікроорганізмів, що розкладають вуглеводні, є ключовим чинником деградації нафтозабруднених ґрунтів. Для успішної біодеградації вуглеводнів кількість ґрунтових бактерій зазвичай знаходиться в межах 10^4-10^7 КУО на грам ґрунту, тоді як менше 10^3 КУО на грам ґрунту має менший потенціал біодеградації [33]. Активно зростаюча популяція бактерій, що розкладають вуглеводні, значно збільшує швидкість деструкції. Тому для ефективного процесу біоремедіації важливо визначити кількість потенційних мікроорганізмів на забруднених ділянках.

Мікроорганізми-деструктори нафти, що часто використовуються як активні члени біоремедіацій-

Таблиця 2

Характеристика чинників, що впливають на ефективність процесів біоремедіації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами

Чинник	Вплив на процес біоремедіації	Заходи для підвищення ефективності біоремедіації
1	2	3
Мікробні співтовариства	Вуглеводні розкладаються різними видами гетеротрофних мікроорганізмів в аеробних та анаеробних умовах. Жоден із видів бактерій у природних умовах не може розкладати всі компоненти сирої нафти. Повне розкладання нафти залежить від комплексних зв'язків між різними видами мікроорганізмів. Для синергетичного розкладання складних сумішей забруднювачів потрібен бактеріальний консорціум (суміш потенційних бактерій) із широкими ферментативними здібностями [25].	Поєднання в одному бактеріальному штамі або в синтетичному бактеріальному консорціумі, різних деградаційних здібностей.
Температура	Забруднювачі довше зберігаються при низькій температурі. При низьких температурах в'язкість нафти збільшується, а летючість токсичних низькомолекулярних вуглеводнів зменшується, що затримує початок біодеградації. Підвищена температура збільшує розчинність вуглеводневих забруднювачів, зменшує в'язкість і переводить довголанцюгові н-алкани з твердої фази у водну. Найвищі швидкості деградації зазвичай відбуваються в діапазоні 30-40°С у ґрунтовому середовищі. Високі температури і солоність перешкоджають розвитку мікроорганізмів [27].	Контроль температури в біореакторі або використання процесів компостування при проведенні ремедіації ex situ.
Вологість	Вода забезпечує розчинення вуглеводнів і зменшує адсорбцію погано розчинних поліциклічних ароматичних вуглеводнів на поверхні мінеральних частинок ґрунту. Оптимальний діапазон вологість поверхні ґрунту для біологічного розкладання вуглеводнів – 50-80 % повної вологоємності ґрунту.	Зволоження ґрунту.
pH грунту	Нафтопродукти можуть спричинити зниження pH ґрунту (кислоти утворюються при розпаді вуглеводнів). Мікроорганізми та ферменти проявляють pH-залежну активність. Оптимальне значення pH знаходиться в межах від 6 до 8.	Вапнування ґрунту для підвищення pH.
Доступність кисню	Наявність кисню в ґрунті може бути обмежена внаслідок поганої проникності ґрунту. Нафтопродукти часто викликають у ґрунті великі безкисневі зони. В умовах зниженого або відсутнього кисню частково переривається метаболізм аеробних мікроорганізмів, а також знижується біодоступність та ефективність деградації полютанту.	Механічна обробка ґрунту (перемішування, розпушування, оранка, боронування, дискування).
Поживні речовини	При нестачі поживних речовин у мікроорганізмів спостерігається різке зниження вуглеводоокислюючої активності, що призводить до зупинки процесу біоремедіації. Нафтопродукти викликають збільшення співвідношення вуглецю до азоту, що несприятливо для метаболізму бактерій. Для ефективної деградації вуглеводнів необхідно регулювати співвідношення вуглець/азот/фосфор (C/N/P) від 100:10:1 до 100:20:1 [28].	Збагачення ґрунту мінеральними або органічними добривами для підтримання оптимального вмісту азоту та фосфору.

Закінчення табл. 2

1	2	3
Органічна речовина	Органічна речовина є основним компонентом ґрунту, який сорбує та десорбує гідрофобні органічні забруднювачі. У деяких випадках можуть формуватись дуже стійкі комбінації забруднювачів з органічними речовинами ґрунту. Внаслідок цього молекули забруднювача дуже повільно надходять у водну фазу ґрунту і стають недоступними для мікроорганізмів. Тому вміст органічної речовини обернено пропорційний швидкості біологічного розкладання вуглеводнів [30].	Застосування методів іммобілізації забруднень у ґрунті. Ефективними є методи механічного фракціонування.
Окисно-відновна реакція	Мікроорганізми використовують вуглеводневі забруднювачі як джерело енергії, каталізуючи перенесення електронів від донорів електронів до акцепторів електронів під час аеробної або анаеробної біоремедіації. Це явище залежить від окисно-відновного потенціалу, який є важливим для управління окисленням вуглеводнів, що є сприятливими донорами електронів для росту бактерій. В аеробних умовах кисень діє як кінцевий акцептор електронів, а також важливий для ферментативного перетворення вуглеводнів. В анаеробних умовах речовини з високим відновним потенціалом (перхлорати, хлорати) є ідеальними акцепторами електронів. Відносне переважання акцепторів електронів є важливим чинником, що впливає на швидкість біодеградації [29].	Внесення в ґрунт акцепторів електронів (кисень, нітрат, сульфат, залізо (III), марганець, хлорат, перхлорат тощо).
Здатність вуглеводнів до біологічного розкладання	Забруднювачі як субстрати повинні бути доступними або для мікроорганізмів, або для їхніх позаклітинних ферментів для метаболізму. За здатністю до біологічного розкладання вуглеводні можна ранжувати наступним чином: лінійні алкани > розгалужені алкани > моноароматичні вуглеводні > циклічні алкани > поліциклічні ароматичні вуглеводні > асфальтени [31].	Використання біосурфактантів для збільшення десорбції та розчинності важких вуглеводнів.
Гранулометричний склад ґрунту	Розмір частинок ґрунту визначає проникність ґрунту та швидкість біодеградації вуглеводнів. Дрібні частинки (глинисті ґрунти з невеликими проміжками) утримують вуглеводні на поверхні ґрунту та знижують доступність поживних речовин та кисню. Великі частинки ґрунту (піщаний ґрунт з великими проміжками) відводять забруднювачі через ґрунт у ненасичену зону [26]. Піщані грунти з низьким вмістом органічного вуглецю мають менше різноманіття мікроорганізмів. Все це негативно позначається на швидкості деградації вуглеводнів.	Додаткова обробка грунтів для підвищення їх проникності.
Концентрація забруднюючої речовини	Надзвичайно високі концентрації надають гострого токсичного впливу на мікроорганізми. Концентрація вуглеводнів >5% знижує активність мікробної деградації та може порушувати співвідношення C:N:P і доступність кисню [32]. Надзвичайно низькі концентрації вуглеводнів обмежують біодеградацію, спричиняють низьке надходження або недоступність вуглецю для підтримки мікробного росту.	Потрібно визначитись, чи доречна біоремедіація.
Супутній забруднювач або наявність інгібіторів	Може спричиняти токсичний вплив на мікроорганізми та значно знижувати ефективність процесу біоремедіації.	Вибір оптимальної стратегії ремедіації.

них консорціумів, є звичайними представниками біоценозів водойм і грунтів забруднених нафтою, що належать в основному до родів:

– бактерій: *Micrococcus, Brevibacterium, Acinetobacter, Pseudomonas, Bacillus, Nocardia, Coryne*;

– грибів: *Aspergillus, Penicillium, Streptomyces, Actinomucor*;

– дріжджів: *Candida, Torulopsis, Cryptococcus* тощо [34].

Видове розмаїття мікроорганізмів пояснюється тим, що такий субстрат, як нафта, є складною сумішшю широкого ряду вуглеводнів з елементами сірки, кисню, азоту, несприятливий для зростання монокультур. Повне розкладання нафти залежить від комплексних зв'язків між різними видами мікроорганізмів. Деякі з них можуть розкладати широку гаму речовин, тоді як інші здатні утилізувати лише один вид вуглеводнів і використовувати його для свого зростання при одночасному окисленні іншого вуглеводню [35]. При цьому в спільнотах мікроорганізмів співтовариство та конкуренція є життєво важливою умовою для виживання та стабільності екосистеми. Мікроорганізми, що розкладають вуглеводні, існують у співпраці (з синергетичним ефектом) та/або конкуренції (з антагоністичним ефектом) за своє виживання в середовищі. Однак конкурен-

ція як міжвидова (між бактеріями та грибами), так і внутрішньовидова (між самими видами бактерій) є чинником, що обмежує ефективність біодеградації. Крім того, деякі види мікроорганізмів, що розкладають вуглеводні, також виділяють метаболіти, які пригнічують ріст та розвиток інших видів бактерій, що розкладають вуглеводні.

Основними критеріями відбору штамів, що використовуються для біодеградації нафтопродуктів, є : здатність штаму швидко адаптуватися до росту в забрудненому середовищі; швидкість асиміляції субстрату; нетоксичні продукти біологічного розкладання.

Забруднені грунти, можуть бути малодоступними для процесів біодеградації мікроорганізмами, коли важкі вуглеводні міцно з'єднуються з ґрунтовими частинками, утворюючи гідрофобні плівки. З метою підвищення біодоступності вуглеводнів використовують поверхнево-активні речовини (сурфактанти) [36]. Хімічно синтезовані поверхнево-активні речовини використовуються для поліпшення розчинності вуглеводнів шляхом емульгування. Однак синтетичні сурфактанти є екологічно небезпечними речовинами з високим ступенем токсичності, які накопичуються в ґрунтових біоценозах. У зв'язку з цим перспективним є використання біосурфактантів, отриманих з природних джерел (рослин або мікроорганізмів), які мають низьку токсичність, стійку активність в екстремальних умовах і більше підходять для розкладання вуглеводнів.

Мікроорганізми продукують ці поверхнево-активні біологічні молекули позаклітинно, щоб емульгувати та легко поглинати вуглеводневі забруднювачі. Існує багато видів біосурфактантів, таких як гліколіпіди (рамноліпіди, емульсії, ліпосани, софоролліпіди та трегалоліпіди), ліпопептиди та ліпопротеїни, сурфактин, ліхенізин, жирні кислоти, полімерні біосурфактанти, фосфоліпіди. Вони виготовляються з різних мікроорганізмів, таких як *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Aeromonas sp*., *Enterobacter sp.*, *Burkholderia sp.*, *Acinetobacter sp.*, *Micrococcus sp.*, *Rhodococus sp.* і деякі види галофілів [37].

Біосурфактант посилює деградацію вуглеводнів багатьма способами, у тому числі шляхом солюбілізації та десорбції забруднюючих речовин, а також зміни властивостей поверхні клітин бактерій. Біосурфактанти здатні знижувати поверхневий натяг і міжфазний натяг на межі вода/повітря або вода/нафта. Таким чином, площа поверхні вуглеводневого субстрату збільшується, що полегшує емульгування, і всі ці явища роблять субстрат легко доступним для поглинання та метаболізму [38]. Загалом біосурфактанти здатні підвищувати розчинність, рухливість, дисперсію, біодоступність та здатність до розкладання вуглеводневих забруднювачів. Тому для ефективної біоремедіації вуглеводнів крім оптимізації параметрів росту бактерій необхідно враховувати здатність мікроорганізмів продукувати відповідні біосурфактанти.

Головні висновки. Головний раціональний принцип відновлення забрудненої екосистеми – це створення оптимальних умов, в яких екосистема буде сама прагнути до відновлення функцій складових компонентів і зв'язків між ними.

Таким чином, основу сучасних біологічних методів очищення становить використання біотичного потенціалу ґрунтової біоти. Головною проблемою розглянутих біологічних методів є необхідність забезпечення відповідних екологічних умов для життєдіяльності мікрофлори за рахунок оптимізації чинників навколишнього середовища.

В результаті важливо розуміти роль біологічних чинників (кількість, тип і склад популяцій мікроорганізмів, форми симбіотичних взаємин тощо) та фізико-хімічних чинників (температура, pH грунту, аерація, окисно-відновний потенціал, поживні речовини у грунті, фізико-хімічні властивості забруднювачів, їх здатність до біорозкладання) для ефективного видалення вуглеводнів. Тому виникає необхідність у проведенні попереднього обстеження забрудненої ділянки для уточнення технологічних режимів з урахуванням зазначених чинників для забезпечення успішного росту та метаболізму мікроорганізмів.

Крім того, розробка нових біосурфактантів, що покращують біодоступність вуглеводнів, є перспективною стратегією подолання бар'єру на шляху відновлення грунтів, забруднених нафтопродуктами. Майбутні дослідження також мають бути спрямовані на створення консорціумів мікроорганізмів, які здатні впливати на широкий спектр вуглеводнів, включаючи ароматичні поліциклічні вуглеводні, смоли та асфальтени. Це відповідним чином буде сприяти підвищенню ефективності та прискоренню процесу біоремедіації.

Література

1. Жолобак Г.М., Дугін С.С., Сибірцева О.М., Дорофей Є.М. Дослідження нафтозабрудненого ґрунту і рослинного покриву, вирощеного на ньому, методом гіперспектрального дистанційного зондування із застосуванням спектрорадіометра ASD FieldSpec®3FR. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 19. С. 12–29.
2. Nowak J. Bioremediacja gleb z ropy i jej produktów. *Biotechnologia*, 2008, № 1 (80). P. 97–108.
3. Patel V., Shah K. Petroleum hydrocarbon pollution and its biodegradation. *International Journal of Chemtech Applications*, 2014. № 2. P. 63–80.
4. Гринчишин Н.М. Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.7. С. 43-49.
5. Біологічні методи охорони навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: монографія / Шапорев В. П., Шестопалов О. В., Мамедова О. О., Бахарєва Г. Ю. та ін. Харків : НТУ «ХПІ», 2015. 216 с.

6. Chen S., Zhong M. Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil. *Environmental Chemistry and Recent Pollution Control Approaches,* 2019. URL: https://www.intechopen.com/chapters/70249.
7. Soil pollution a risk to our health and food security. United Nations Environment Programme (UNEP), 2020. URL: https://www.unep.org/news-and-stories/story/soil-pollution-risk-our-health-and-food-security
8. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу / О. Голубцов, Л. Сорокіна, А. Сплодитель, С. Чумаченко. Київ: ГО «Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2023. 32 с.
9. The toxic legacy of the Ukraine war. URL: https://www.bbc.com/future/ article/20230221-the-toxic-legacy-of-the-ukraine-war.
10. Корогод О. Врятувати українську землю. Як війна впливає на стан грунтів і що чекає на органічне виробництво. Економічна правда. 2023. URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2023/05/11/700021/
11. Azubuike CC, Chikere CB, Okpokwasili GC. Bioremediation techniques-classification based on site of application: Principles, advantages, limitations and prospects. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2016. 32. 180.
12. Michael-Igolima U., Abbey S.J., Ifelebuegu A.O. A systematic review on the effectiveness of remediation methods for oil contaminated soils. *Environmental Advances*. 2022. № 9. 100319.
13. Lim M.W., Lau E.V., Poh P.E. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil – Present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin*. 2016. № 109. P. 14–45.
14. Шевчик-Костюк Л.З., Романюк О.І., Ощаповський І.В. Особливості забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами: огляд. *Acta Biologica Ukrainica.* 2022. № 1. С. 32–40.
15. Процько Я. І. Вплив нафти та нафтопродуктів на ґрунтовий покрив. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2010. № 2. С. 189–191.
16. Rushton DG, Ghaly AE, Martinell K. Assessment of Canadian regulations and remediation methods for diesel oil contaminated soils. *American Journal of Applied Sciences*. 2007. № 4. P. 465–578.
17. Pala D.M., de Carvalho D.D., Pinto J.C., Sant'Anna Jr G.L. A suitable model to describe bioremediation of a petroleum contaminated soil. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 2006. Vol. 58. P. 254–260.
18. Gałązka A. Zanieczyszczenia gleb substancjami ropopochodnymi z uwzględnieniem biologicznych metod ich oczyszczenia. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych.* 2015. T.64. № 1(306). S. 145–164.
19. Atlas R. M. Petroleum biodegradation and oil spill bioremediation. *Marine Pollution Bulletin*. 1995. № 31, P. 178–182.
20. Hoff R.Z. Bioremediation: an overview of its development and use for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin*. 1993. Vol. 26. P. 476–481.
21. Aislabie J., Saul D., Foght J. 2006 Bioremediation of hydrocarbon-contaminated polar soils *Extremophiles.* 2006. Vol. 10. P. 171–179.
22. Cerqueira V.S., Peralba M.R., Camargo F.A.O., Bento F.M. Comparison of bioremediation strategies for soil impacted with petrochemical oily sludge. *International Biodeterioration & Biodegradation.* 2014. Vol. 95. P. 338–345.
23. Shahi A., Aydin S., Ince B., Ince O. Evaluation of microbial population and functional genes during the bioremediation of petroleum-contaminated soil as an effective monitoring approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 125. P. 153–160.
24. Ruffini Castiglione M., Giorgetti L., Becarelli S., Siracusa G., Lorenzi R., Di Gregorio S. Polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated soils: Bioaugmentation of autochthonous bacteria and toxicological assessment of the bioremediation process by means of Vicia faba L. *Environmental Science and Pollution Research International.* 2016. Vol. 23. P. 7930–7941.
25. Diaz E. Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolic versatility. *International Microbiology.*2004. Vol.7. P. 173–180.
26. Scherr K., Aichberger H., Braun R., Loibner A.P. Influence of soil fractions on microbial degradation behavior of mineral hydrocarbons. *European Journal of Soil Biology*. 2007. Vol. 43. P. 341–350.
27. Yuniati M.D. Bioremediation of petroleum-contaminated soil: A Review. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 2018. 118 012063.
28. Kebede G. Tafese T., Abda E.M., Kamaraj M., Fassil Assefa F. Factors Influencing the Bacterial Bioremediation of Hydrocarbon Contaminants in the Soil: Mechanisms and Impacts. *Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 2021. 9823362.
29. Weelink S.A.B., van Eekert M.H.A., Stams A.J.M. Degradation of BTEX by anaerobic bacteria: physiology and application. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2010. Vol. 9. №. 4. P. 359–385.
30. Varjani S.J, Upasani V.N. A new look on factors affecting microbial degradation of petroleum hydrocarbon pollutants. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2017. Vol.120. P. 71–83.
31. Leahy J.H.,Colwell R. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *Microbiological Reviews.* 1990. Vol. 54(3). P. 305–315.
32. Sonawdekar S. Bioremediation: a boon to hydrocarbon degradation. *International Journal of Environmental Sciences*. 2012. Vol. 2. № 4. P. 2408–2424.
33. Sihag S., Pathak H., Jaroli D. P. Factors affecting the rate of biodegradation of polyaromatic hydrocarbons. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. 2014. Vol. 2. № 3. P. 185–202.
34. Lv Y., Bao J., Zhu L. A comprehensive review of recent and perspective technologies and challenges for the remediation of oil-contaminated sites. *Energy Reports*. 2022. № 8. P. 7976–7988.
35. Maliji D., Olama Z., Holail H., Environmental studies on the microbial degradation of oil hydrocarbons and its application in Lebanese oil polluted coastal and marine ecosystem. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2013. Vol. 2. № 6. P. 1–18.
36. Ossai C., Ahmed A., Hassan A., Hamid F.S. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: a review. *Environmental Technology and Innovation*, 2020. Vol. 17. P. 1–42.
37. Ukiwe L.N., Egereonu U.U., Njoku P.C., Nwoko C.I.A., Allinor J.I. Polycyclic aromatic hydrocarbons degradation techniques. *International Journal of Chemistry*. 2013.Vol. 5. № 4. P. 43–55.
38. Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*. 2011. Vol. 2011. P. 1–13.

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 504.45.058
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.16

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРИРОДНО-ШТУЧНОГО БІОМЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ (ПШБК) НА ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ КІЛІЙСЬКОГО МІЖРАЙОННОГО УПРАВЛІННЯ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА (КМУВГ)

Коротецький В.П.[1], **Полятикіна О.О.**[2]
[1]Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
[2]Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ
mars108@meta.ua, gelios009@gmail.com

Досліджено особливості функціонування ПШБК на водних об'єктах Кілійського міжрайонного управління водного господарства (КМУВГ). Розроблено наукові підвалини з охорони, використання та відтворення ПШБК з метою підвищення ефективності роботи водних об'єктів різного призначення на основі обґрунтування заходів з вивчення сучасного стану біомеліорантів, інших гідробіонтів, а також моніторингу гідробіологічних та гідрохімічних показників в умовах постійного антропогенного навантаження.

Антропогенний вплив та інші чинники підвищують рівень біологічних загроз (біоперешкод) для навколишнього природного середовища, і,як наслідок таких негативних явищ, – погіршення якості води, а також екологічного стану довкілля. Перспективним напрямком біологічної меліорації водних об'єктів є природно–штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК). Безперечним здобутком запропонованого методичного підходу – це біологічна, а отже, найбільш безпечна для довкілля альтернатива різним наявним механічним, хімічним, фізичним методам поліпшення ефективності експлуатації водних об'єктів. Важливим критерієм, запропонованим ПШБК, є те, що трофічні ланцюги мають бути найбільш «короткими», а отже, й екологічно ефективними з точки зору кругообігу речовин, швидкості росту гідробіонтів, особливо риби, формування високої якості води та практичного поліпшення навколишнього природного середовища. Під час створенні ПШБК застосовується диференційований підхід до відбору його складових, залежно від типу водного об'єкта та наявних біологічних загроз. Визначено оптимальні видовий склад риб–біомеліорантів ПШБК та вікові й вагові характеристики зарибку. Досліження спрямоване на вироблення низки науково-практичних біоманіпуляцій, що дозволять на основі отриманих наукових даних практично впровадити у водних екосистемах КМУВГ комплекс заходів, спрямованих на підвищення ефективності їхньої експлуатації. *Ключові слова:* біомеліорація, біологічні загрози, фітопланктон, вищі водні рослини, рослиноїдні риби, біомеліоранти, природно–штучний біомеліоративний комплекс

Efficiency of functioning natural and artificial biomeliorative complex (PSHBC) on the water facilities of the Kilia interdistrict water management department (KMUVG). Korotetskyi V., Polyatykina O.

Peculiarities of the operation of PSHBC on water objects of the Kili Interdistrict Water Management Department (KMUVG) were studied. The scientific foundations for the protection, use and reproduction of PSHBC have been developed in order to increase the efficiency of the work of water bodies of various purposes based on the justification of measures to study the current state of biomeliorants, other hydrobionts, as well as monitoring of hydrobiological and hydrochemical indicators in conditions of constant anthropogenic load. Anthropogenic influence and other factors increase the level of biological threats (bioobstacles) to the surrounding natural environment, and as a result of such negative phenomena – the deterioration of water quality, as well as the ecological state of the environment. A natural-artificial biomelioration complex (PSHBC) is a promising direction of biological reclamation of water bodies. The undoubted achievement of the proposed methodical approach is a biological, and therefore the most environmentally safe alternative to the various existing mechanical, chemical, and physical methods of improving the efficiency of the operation of water bodies. An important criterion proposed by the PSHBK is that the trophic chains should be the «shortest», and therefore ecologically efficient from the point of view of the circulation of substances, the growth rate of hydrobionts, especially fish, the formation of high water quality and the practical improvement of the natural environment. A differentiated approach to the selection of its components is used during the creation of the PSHBC, depending on the type of water body and existing biological threats. The optimal species composition of fish biomeliorants of the PSHBK and the age and weight characteristics of the stocking were determined. The research is aimed at the development of a number of scientific and practical biomanipulations, which will allow, on the basis of the received scientific data, to practically implement a set of measures aimed at increasing the efficiency of their exploitation in the water ecosystems of the KMUVH. *Key words:* biomelioration, biological threats, phytoplankton, higher aquatic plants, herbivorous fish, biomelioration agents, natural-artificial biomelioration comple**.**

Постановка проблеми. Зважаючи на глобальні зміни клімату та антропогенний вплив, у водних екосистемах спостерігається зростання ролі біологічних загроз. На сьогодні у різнотипних водних об'єктах КМУВГ існують такі основні типи біологічних загроз:

цвітіння води планктонними синьо-зеленими водоростями (Cyanobacteria). Інтенсивний розвиток водоростей, що призводить до «цвітіння» води. Формування плівки водоростей на поверхні води, гіпернасичення O_2 у поверхневих горизонтах та глибокий дефіцит кисневого насичення в серединних та придонних горизонтах. Після відмирання і деструкції біомаси водоростей у воду надходить значна кількість органічних речовин (ОР), фенолів, їх похідних, альготоксини. На окиснення органічних речовин витрачається кисень водної товщі, у результаті погіршується кисневий режим. Альготоксини є небезпечними для гідробіонтів вищих трофічних рівнів (безхребетних, риб). «Забивання» водоростями, особливо їх колоніями, зябрових щілин риб, зоопланктону, зообентосу. Накопичення плівки синьо-зелених водоростей на поверхні води у водоймищах-охолоджувачах електростанцій може призводити до зниження теплопередачі в атмосферу і відповідно зменшити ефективність експлуатації водойми [9];

заростання акваторій вищими водними рослинами призводить до негативних наслідків: «Затінення» водної товщі в місцях їх інтенсивного розвитку з відповідним формуванням кисневого дефіциту, інтенсифікація розвитку анаеробної мікрофлори. Субстрат для осадження різних завислих часток. Формування масивів заростей зменшує водний потік у каналах. Надходження у воду різних типів ОР, багаторічне накопичення залишків кореневих систем ВВР призводить до зменшення потужності поперечної площі водного потоку. Занурені вищі водні рослини, особливо в зонах, наближених до водозабору, можуть викликати біоперешкоди під час їх масового знесення течією до насосних станцій [12];

Масовий розвиток молюсків обростань, зокрема видів роду Dreissena призводить до суттєвого зниження пропускної здатності. Біологічне відмирання тваринних організмів спричиняє надходження у воду значних кількостей різноманітних ОР.

Наукова сутність праці полягає у виробленні низки науково-практичних біоманіпуляцій, що дозволять на основі отриманих наукових даних практично впровадити у водних екосистемах різних типів та призначення комплекс заходів, що підвищать ефективність їх експлуатації.

Важливо констатувати, що запропонований методичний підхід базується на наявному сьогодні різноманітті природної біоти водойм з штучним «внесенням», практично, інтродукцією певних видів, які зможуть бути біомеліорантами, життєдіяльність яких в екосистемі сприятиме мінімізації біологічних загроз.

Безперечним здобутком запропонованого методичного підходу є те, що це біологічна, а отже, найбільш безпечна для довкілля альтернатива різним наявним механічним, хімічним, фізичним методам підвищення ефективності експлуатації водних об'єктів.

Аналіз попередніх досліджень (публікацій). На сьогодні існує (незатверджений) єдиний нормативний документ «Методологія запобігання біологічним загрозам (біоперешкодам) водних екосистем шляхом формування природно-штучного біомеліоративного комплексу», розроблений науковцями Науково-дослідного інституту «Держводекологія». Інші наукові роботи, присвячені проблемам біологічної меліорації, стосуються лише вселення у водойми рослиноїдних риб. Опубліковані статті щодо вселення далекосхідного комплексу риб у водоймища–охолоджувачі України, наприклад, Запорізької АЕС [10], Хмельницької АЕС [5], Змієвської ТЕС [2], Криворізької ТЕС [3], а також монографія І.Ю. Бузевича щодо рослиноїдних риб у водосховищах України [1].

Іхтіофауна водних об'єктів України протягом останнього сторіччя знаходиться у полі зору багатьох дослідників. Найбільш ранні й досить повні дані, що стосуються видового складу риб, представлені в роботах таких відомих науковців як І. Правдин, Г. Никольський, А. Константинов, І. Шерман, Ю. Пилипенко, І. Бузевич, Р. Новицький.

Мета дослідження – розроблення наукових основ з ефективного використання ПШБК на водних об'єктів КМУВГ на основі обґрунтування заходів з вивчення сучасного стану біомеліорантів, інших гідробіонтів, а також моніторингу гідробіологічних та гідрохімічних показників в умовах постійного антропогенного навантаження.

Об'єкт дослідження – процес біомеліорації, що дозволяє відслідкувати якісні показники природних вод на водних об'єктах різного призначення.

У праці проаналізовано комплекс науково-практичних підходів, що базуються на аналізі науково-технічної літератури та інших інформаційних джерел, використанні системного аналізу умов та особливостей біомеліорації, методах екологічного моніторингу для експертного оцінювання впровадження ПШБК та геоінформаційного представлення й відображення біоперешкод під час розроблення природоохоронних заходів для поліпшення екологічної ситуації на водних об'єктах.

Згідно з Каталогом водного фонду Одеської області, наданого Облводгоспом, усього в області нараховується 210552,8 га земель водного фонду, з яких 15054,7 га землі – під природними водотоками, 8917,9 га – під штучними водотоками, 16 903,2 га – під озерами, 10590,3 га – під штучними водоймами.

Для забезпечення ефективної експлуатації водних об'єктів «Кілійського міжрайонного управління водного господарства» (КМУВГ) протягом 2021–2022 років здійснювалися заходи з формування природно-штучного біомеліоративного комплексу (ПШБК) шляхом запуску у водну екосистему біомеліорантів у вигляді рослиноїдних риб відповідно до зазначених у Програмі розрахунків на площу водойми (табл. 1).

Науково-пошукові дослідження, проведені в 2019–2022 роках, базувалися на методичних заходах, викладених в Постанові Кабінету Міністрів України № 758 від 19 вересня 2018 р. «Про здійснення державного моніторингу масивів поверхневих вод». Проведені комплексні дослідження включали основні абіотичні та біотичні показники, зокрема: фізичні, хімічні та біологічні (ботанічні, зоологічні, трофологічні).

У процесі експедиційних досліджень визначались наступні абіотичні та біотичні показники водних екосистем. Фізичні, фізико-хімічні, біологічні. Кількісні показники – величини чисельності (N, тис. клітин/дм^3) і біомаси (B, мг/м^3). Температурний режим. Так, у місяці листопаді 2020, 2021 та 2022 роках температура води, як на кінець осені, була досить високою – +13,8–14,0°С. Відносно високими були й зимові температури води в лютому 2020 і 2021 років – від +0,4°С до +1,8–2,5°С. Отримані натурні дані протягом 2022 року, порівняно з даними минулих періодів, також є нетипово високими.

Натурні дослідження мінералізації й електропровідності (кондуктивності) води відобразили їх істотні відмінності у різних водоймах. Так, величини електропровідності коливались від 366–489 до 1305–1579 мСм/см, а мінералізації – від 163 до 1170–1245 мг/дм^3.

Дослідження pH засвідчили, що вода в усіх досліджених водоймах має лужний характер. При цьому мінімальні значення змінюються від 8,1–8,3 до максимальних – 8,5–8,9. Середні значення pH у всіх водоймах також мали лужний характер – 8,3–8,7.

Проведені натурні дослідження у 2021 році показали, що абсолютний вміст розчиненого у воді кисню – у досить широких межах – від 5,1–7,8 влітку до 9,8–17,1 мг O2/дм^3, при цьому середні показники були досить високі – 6,8–13,4 мг O2/дм^3. Відповідно, з урахуванням температури на станціях відбору було й насичення води киснем від 0,1–99 до 132–161% з середніми значеннями 106–152%. Отже, згідно з отриманими даними, кисневий режим досліджених водойм був позитивний, дефіциту кисню зафіксовано не було. Отже, можна стверджувати, що позитивний кисневий режим, обумовлений у тому числі й роботою ПШБК, напряму пов'язано з інтенсивним розвитком фітопланктону – основного біологічного агента фотосинтетичного насичення води розчиненим киснем.

Аналіз структурної організації таксономічного різноманіття літнього **фітопланктону** показав, що його провідними відділами були: Cyanophyta, Bacillariophyta і Chlorophyta, а представники інших відділів суттєвого значення у формуванні таксономічного різноманіття не мали. Кількість в. в. т. у різних альгологічних пробах на представлених станціях коливалась від 10–11 до 16–24 таксонів. Південна зона розташування та підвищена мінералізація водойм Кілійського МУВГ створюють підвищене якісне та кількісне зростання фітопланктону, що негативним чином впливає на якість поверхневих вод. Запровадження ПШБК істотно поліпшує якість води та зупиняє процеси деградації водних об'єктів, що і є – запобігання біологічним перешкодам. Аналіз даних за таксономічними, еко-

Таблиця 1

Площа водних об'єктів Кілійського МУВГ, на яких запроваджена Програма ПШБК

№	Назва водного об'єкту	Площа (S), га
1.	Канал Міжколгоспний-Дунайський	115
2.	Підвідний канал до н/ст ЗНС-1 КРЗС	5
3.	Підвідний канал до н/ст Дружба-1 КРЗС	10,2
4.	Підвідний канал до н/ст ЗНС-1, 1а ТЗС	3,6
5.	Підвідний канал до н/ст ЗНС-11 МРЗС	4,3
6.	Підвідний канал на о. Степовий	3,9
7.	Канал Кофа	9,6
8.	Канал Дунай-Сасик	139
9.	Козійське водосховище	54,6
10.	Нерушайське водосховище	165
11.	Дмитрівське водосховище	93,5
12.	Кагачське водосховище	105
13.	Канал Тупиковий	6
	Всього	714,7

логічними, географічними характеристиками фітопланктону показав, що за поширенням практично всі види водоростей є космополітами, що засвідчує їх високу адаптаційну здатність до умов водного середовища, тому вони можуть вегетувати, а отже, й входити до ПШБК.

Натурними дослідженнями, проведеними в період 2019–2021 років, встановлено, що зарості **макрофітів**, в основному, належать до екологічної групи занурених рослин, а також очерету. Макрофіти представлені різноманітними зануреними ВВР і нитчастими водоростями. Зарості ВВР нараховують 8 видів з 5 родин: родина Рдесникові (рдесник пронизанолистий, гребінчастий, кучерявий, злаколистий), родина Різухові (різуха морська), родина Жабурникові (валіснерія спіральна), родина Куширові (кушир занурений), Родина Столисникові (водопериця колосова). Усі види є багаторічними рослинами, що широко поширені на території України. Знайдені види утворюють у ВОУ як чисті, так і змішані ценози.

На основі отриманих даних обчислили запаси фітомаси кожного виду, а також загальні запаси зануреної рослинності. У цілому, запаси рослинності оцінюються близько 2,5 т/км абсолютно сухої маси.

Зарості макрофітів у водоймах КМУВГ накопичують значні величини біомаси, знаходження якої у водоймах має як позитивний, так і негативний вплив на їх експлуатацію, формування біорізноманіття та життедіяльність гідробіонтів.

Позитивний вплив – це забезпечення якості води та використання макрофітів як реальний харчовий ресурс для гідробіонтів вищих трофічних рівнів (безхребетні, риби) чи як потенційний ресурс для отримання білків, жирів, вуглеводів.

Негативний вплив макрофітів полягає в тому, що при відмиранні надлишкової біомаси у воду надходить велика кількість органічних речовин, що може призводити до погіршення кисневого режиму, а також і якості води.

Запровадження ПШБК на водоймах КМУВГ протягом 2020–2021 років нині дозволяє стверджувати щодо запобігання надмірному розвитку вищої водної рослинності завдяки вселеного меліоранта – білого амура. Так, завдяки вселенню білого амура за вимогами Програми у 2020–2021 роках заростання вищою водною рослинністю водосховища Козійське зменшилося досить істотно. Зокрема, площа заростання очеретом скоротилася з 60% до 20% водного дзеркала, що є позитивним показником роботи ПШБК. Прогнозовано, що завдяки кількісним та якісним показникам біомеліоранта зазначеного виду, в період 2022–2024 років надмірне заростання макрофітами зменшиться до параметрів, відповідно до вимог Програми, на всіх водних об'єктах КМУВГ.

Угруповання безхребетних водної товщі (**зоопланктон**) представлені різноманітними дрібними тваринами, які, в основному, відносяться до коловерток (Rotatoria), гіллястовусих (Cladocera) і веслоногих ракоподібних – Copepoda.

Домінуючими видами зоопланктону (як за чисельністю, так і за біомасою) були коловертки – Ploesoma truncatum, Asplanchna sieboldi, Euchlanis dilatata, Keratella quadrata і веслоногий рачок – Acanthocyclops americanum. За кількістю різноманіття, основну частину чисельності – 83,0 тис. екз/м^3, це 90% від загальної кількості чисельності зоопланктону, і біомаси – 172,9 мг/дм^3; що відповідно складає 67% від сумарного зоопланктону формували коловертки.

В цілому ж, проведення узагальнюючого аналізу по якісному і кількісному різноманіття зоопланктону показує, що більшу частину року – весна, осінь, зима, – величини його біомас знаходяться в межах до одного грама на метр кубічний, і тільки в літній період, а це фактично не більше трьох місяців, можуть досягати величин біомас у декілька грам. Але при цьому, зоопланктон відіграє істотну роль у формуванні планктонних ланцюгів живлення багатьох представників іхтіофауни на різних етапах розвитку риб.

Отже, зоопланктон водойм КМУВГ характеризується значним якісним і кількісним різноманіттям та відіграє значну роль у функціонуванні біоти, а відповідно, і ПШБК. Автори переконані, що вселений в процесі формування ПШБК строкатий товстолобик та його гібридів разом з водними зооплантонофагами, які мешкають у водній екосистемі досліджуваних водойм, забезпечують оптимальне функціонування біомеліоративного комплексу.

Для формування ПШБК на водних об'єктах, що у складі Кілійського управління водного господарства (далі – КМУВГ), у 2022 році було визначено випуск (вселення) молоді таких видів біомеліорантів за відповідними якісними показниками (табл. 2).

Розраховані обсяги вселення біомеліорантів, що формуватимуть ПШБК на всіх водних об'єктах КМУВГ, наведені у табл. 2, – обов'язкові для експлуатації водних об'єктів КМУВГ.

Разом з тим, варто зазначити, що у водних об'єктах КМУВГ мешкають статевозрілі особини гибридів рослиноїдних риб, що не є ефективними біомеліорантами і не мають можливості до самовідтворювання, з метою уникнення резорбції ікри та заморних явищ, і це, в свою чергу, може призвести до негативних екологічних наслідків.

Згідно з результатами наукових досліджень протягом 2022 року щодо ефективності роботи ПШБК, вилучення старшовікових груп біомеліорантів рекомендовано здійснювати у 2023 році на рівні згідно з рекомендованими нормативами.

Разом з тим, варто зазначити на позитивну роботу старшовікових особин білого амуру, який суттєво розріджує вищу водну рослинність (очерет, рогоз) на глибинах від 0,5 до 0,7 м, що було підтверджено під час проведення досліджень глибин Козійського

Таблиця 2

Раціональний видовий склад випуску біомеліорантів (на 1 га водного дзеркала КМУВГ).

Вік, р	Білий амур		Строкатий товстолоб		Білий товстолоб		Короп/сазан	
	шт/га	наважка, г	шт/га	Наважка, г	шт/га	наважка, г	шт/га	наважка, г
0+	200	30	750	35	1000	30	500	30
1	200	30	750	35	1000	30	500	30
1+	50	700	250	250	260	200	125	200

Таблиця 3

Рекомендовані нормативні показники вилучення хижаків та домінуючого виду у 2023 р.

№	Вид зарибку	Наважка (не менше), *кг*	Обсяги вилучення *кг/га*
1.	Судак	0,8	50
2.	Щука	0,7	30
3.	Окунь	0,2	80
4.	Сом	1,5	30
5.	Карась сріблястий	0,2	100
	Всього:	**-**	***290***

і Нерушайського водосховищ у листопаді 2022 року. Заміри глибин на даних водних об'єктах, що проводилися у 2021 році зафіксували розрідженість ВВР на глибинах 0,7–1,0 м, що свідчить про активний розвиток і харчування білого амура в складі ПШБК.

Стан біомеліорантів, вилучених під час досліджень, задовільний, явних ознак захворювань та пошкоджень не виявлено. Гідробіонти в живому стані випущені до водойми.

Основним критерієм необхідності створення та впровадження ПШБК на різнотипних водних об'єктах КМУВГ є оцінка його ефективності в покращенні якості водного середовища.

Проведений натурний аналіз таксономічного різноманіття, морфологічних, розмірних, ценотичних характеристик фітопланктону досліджених водних об'єктів, показує, шо використання як білого, так і строкатого товстолобиків, а також їхніх гібридів, є досить ефективними біологічними меліорантами при формуванні ПШБК впродовж досліджуваного періоду.

Кількісні показники (чисельність, біомаса). Не менш важливими критеріями необхідності використання риб фітофагів є кількісні показники розвитку фітопланктону, що відображають інтенсивність формування фітомаси.

З'ясовано, що величини чисельності фітопланктону досліджених водних об'єктів коливались у широких межах – від 178 тис. кл/дм^3 до 246753 тис. кл/дм^3. Відповідно навіть в осінній період біомаси можуть досягати величин у декілька десятків г/м^3 (20,267 г/м^3). Очевидно, що в літню пору року – період масової вегетації фітопланктону – кількісні показники його розвитку можуть перевищувати дані в декілька разів.

Проведений аналіз натурних даних по таксономічному різноманіттю, морфологічним, ценотичним показникам, величинам чисельності та біомаси водоростевих угруповань на прикладі досліджених водних об'єктів КМУВГ засвідчує необхідність і важливість дослідження структурно– функціональної організації фітопланктону, що є основним біологічним компонентом, який необхідно враховувати під час формування та функціонуванні іхтіофауни ПШБК.

Для отримання об'єктивніших даних з оцінки функціонування ПШБК в якості контрольних гідрохімічних показників стану водних екосистем були взяті ті, що були отримані за місяць до вселення риб–біомеліорантів. Для більшої об'єктивності оцінки впровадження та функціонування ПШБК натурні дослідження були проведені на різнотипних водних об'єктах КМУВГ.

Так, у якості водотоку було обрано важливий водогосподарський комплекс Півдня України: канал р. Дунай – оз. Сасик. Варто зазначити, що вселення риб–біомеліорантів у даний водоток відбулося 02.11.2022р. Відповідно у якості контрольних показників було взято дані за жовтень 2021 року, а оцінка функціонування ПШБК проведена за листопад 2022 року. Зафіксований позитивний ефект функціонування новоствореного ПШБК обумовлений оптимальним вибором як видового складу, так і кількісних показників вселених риб–меліорантів. Так, у порівнянні з водогосподарськими комплексами, де впроваджувалось ПШБК, в каналі р. Дунай – оз. Сасик було вселено фітопланктонофага білого товстолобика, а також оптимальну кількість факультативного фітофага строкатого товстолобика чи їх гібридів.

Отже, вважаємо, що здійснені в каналі біоманіпуляційні роботи по створенню ПШБК, особливо оптимальні показники вселення білого товстоло-

Таблиця 4

Біомеліоранти

№	Назва біомеліорантів (вид риби, ракоподібних, молюсків)	Кількість вилучення (шт.)	Наважка середня (г)	Розмірний ряд середній (см)	Відсоток кількості до загального вилучення (%)	Загальна вага за вилученням (кг)
1	Краснопірка	18	65	15	29,7	1,170
2	Окунь	9	35	13	8,0	0,315
3	Товстолобик	5	220	22	28,0	1,100
4	Короп	3	250	23	19,1	0,750
5	Амур	2	300	24	15,2	0,600

Таблиця 5

Критерії ефективності роботи ПШБК

Критерій	Характеристика
Природоохоронні вимоги	наявність санітарної зони не менше ніж 25 м, а також відсутність у цих межах будь яких капітальних споруд, чи використання даної зони для рекреації (купання, відпочинок)
Фізичні показники:	
Прозорість води за диском Секкі, м	не менше, ніж 50% товщі води
Хімічні показники:	
Вміст розчинного у воді кисню, мг O2/дм^3	не менше 6 мг O2/дм^3, бажано до 10 мгO2/дм^3
Насичення товщі води киснем, %	не менш ніж 70%, бажано 100–110%
Амонійний азот (NH4+)	не більш ніж 0,50 мг N/дм^3
Нітратний азот (NO3–)	не більш ніж 0,70 мг N/дм^3
Нітритний азот (NO2–)	не більш ніж 0,06 мг N/дм^3
Фосфор фосфатів (PO43–)	не більш ніж 0,1 мг P/дм^3
БО, мг O/дм^3	25–26 мг O/дм^3
ПО, мг O/дм^3	8–10 мг O/дм^3
Гідробіологічні показники:	
Потужність фотичної зони, % товщі води	не менш ніж 70%
Біомаса фітопланктону, мг/дм^3	2–5 мг/дм^3
Фітомаса вищих водних рослин, кг/м^2	0,5–1 кг/м^2
Частка акваторії, заросла вищою водною рослинністю різних екологічних груп, %	10–20%. При цьому більшу частку має формувати занурена рослинність, оскільки це елективний корм для білого амура
Біомаса зообентосу, г/м^2	40–100 г/м^2

бика, чітко вказують на хорошу перспективу проведення біомеліоративних робіт у водотоках Півдня України. Відповідно до отриманих результатів спостерігається позитивна динаміка показників абсолютного вмісту кисню та кисневому насиченню води. Рівень pH має незначне від'ємне значення, але знаходиться в межах норми сезонних коливань гідрологічного режиму водойми. Отже, застосовані заходи ПШБК показують позитивну динаміку зміни гідрофізичних та гідрохімічних показників на каналі Дунай-Сасик.

Важливим позитивним результатом, отриманим в процесі аналізу впровадження та ефективності функціонування ПШБК, є натурні дані, отримані на низці водойм іншого типу – водосховищах, що входять до водогосподарського комплексу КМУВГ. Так, оцінка ефективності функціонування ПШБК у 2021 на Козійському водосховищі засвідчили позитивну тенденцію по абсолютним і відносним показникам pH, абсолютному вмісту O2. Очевидно, що відсутність позитивних результатів по оцінці насичення води киснем обумовлена різким зниженням температури (до 8,1°C) у листопаді в порівнянні з контролем – жовтень (12,9°C). Проте різке зниження температури призвело до зменшення інтенсивності фотосинтетичних процесів і, відповідно, зниження насичення води киснем.

У 2022 році проведені порівняльні дослідження показують, що pH має також від'ємне значення порівняно з контрольним місяцем жовтнем 2021 року, але від'ємне відхилення -0.23 незначне, що є нормальним за стандартних коливань гідрологічного режиму водойми, а також свідчить про нормалізацію процесів та після вселення риб-біомеліорантів.

Таблиця 6

Оцінка ефективності функціонування ПШБК на Козійському водосховищі Кілійського водогосподарського комплексу в період 2021–2022 рр.

Показники стану водного середовища	Сезонне функціонування екосистеми 2021				Вселення риб (контроль 2021)	Функціонування ПШБК 2021			Функціонування ПШБК 2022		
	травень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	±Δ	±Δ, %	листопад	±Δ	±Δ, %
t°C (температура води)	21	27	25,8	21,7	12,9	8,1	–	–	9,5	–	–
pH (кислотність – лужність)	8,5	8	7,6	7,9	8,48	9,06	+0,58	+6,84	8,25	-0.23	-2,71
TDS (електропровідність)	540	920	440	493	591	629	–	–	–	–	–
PPD (солоність)	0,28	0,45	0,2	0,23	0,28	0,3	–	–	–	–	–
O2, мг/дм^3 (абсолютний вміст)	–	3,5	5.4	8,4	8,1	9,5	+1,4	+17,28	8,2	+0.06	+0,74
O2, % (кисневе насичення води)	99	45	72,5	96,7	94,2	79	–15,2	–16,14	85	-9.2	-9,77

У цілому, натурні результати, отримані на Козійському водосховищі, наведені в табл. 6.

Аналогічні дані з оцінки ефективності створення та функціонування ПШБК у Нерушайському водосховищі та на Дмитрівському водосховищі.

У 2021 році проведений порівняльний аналіз з ранжирування ефективності функціонування ПШБК досліджених водосховищ показав, що найбільш оптимальні результати отримані на Дмитрівському водосховищі. Вважається, основним чинником, що зумовив позитивну тенденцію в даному водосховищі, порівняно з іншими, є співвідношення кількості вселених риб- фітофагів – білого товстолобика. Відповідно до порівняльних характеристик за 2022 рік спостерігається позитивна динаміка впровадженої системи ПШБК на всіх досліджуваних водоймах.

Висновки. Всебічно проведені розрахунки оптимальних якісних і кількісних показників риб-меліорантів на основі попередньо здійснених гідрохімічних, гідрофізичних та гідробіологічних досліджень (основних біологічних компонентів, що визначають якість води та ступінь біоперешкод в іригаційних системах, – це різноманіття планктонних водоростевих угруповань та вищих водних рослин різних екологічних груп) занурених, з плаваючим листям і повітряно–водних рослин. Саме наголошення на дослідженні біологічного компоненту є досить важливим фактором для запобігання біоперешкодам на водозабірних насосних станціях.

Отже, здійснений аналіз у 2021 році піонерних наукових праць щодо впровадження ПШБК на різнотипних водогосподарських об'єктах (канали, водосховища) та перших місяців їх функціонування наочно засвідчує, що біомеліорація є перспективним напрямком водогосподарської діяльності на Півдні України. А дослідження, проведені у 2022 році, переконливо доповнюють такі твердження. Не менш важливим є й те, що поліпшення екологічного стану довкілля, якості води, мінімізація біологічних загроз (біоперешкод) здійснюється без застосування високовартісних механічних методів чи небезпечних для зовнішнього середовища хімічних методів.

Станом на сьогодні єдиним, затвердженим на рівні держави, заходом біологічного очищення та запобігання біоперешкодам водним екосистемам є природно-штучний біомеліоративний комплекс, що передбачає вселення у водний об'єкт різних гідробіонтів, у тому числі риб-меліорантів, які відносяться до рослиноїдних риб.

Література

1. Біологія і промисел далекосхідних рослиноїдних риб великих водосховищ України / Бузевич І.Ю. та ін. Київ: 2012. 126 с.
2. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці. Бібліотека журналу ІТЕ. Т. 1. Харків : УкрНДІЕП, 2000. 243 с.
3. Еколого-біологічна та рибогосподарська характеристика водосховища-охолоджувача Криворізької ТЕС / Федоненко О.В. та ін. *Питання біоіндикації та екології.* 2016. Вип. 21, № 1–2. С. 99–110.
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12

5. Ковба М.В. Аквакультура промислово цінних видів риб на водних об'єктах Хмельницької АЕС / *Водні ресурси і аквакультура. Київ : ДІА,* 2010. С. 163–166.
6. Куліуш Т. Ю., Гуслиста М. О., Новіцький Р. О. Проміжні результати біомеліоративних робіт на Дніпровському водосховищі у 2016–2018 рр. / Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали X Міжнародної наукової конференції (м. Дніпро, 18-19 листопада 2019 р.). Дніпро: Ліра, 2019. С. 15.
7. Новіцький Р. О. Методичні рекомендації по вивченню основ іхтіології та організації іхтіологічних досліджень на водоймах Дніпропетровської області. Дніпро: ОЕНЦДУМ, 2019. 144 с.
8. Охріменко О.В. Живлення білого товстолоба (*Hipophthalmichthys molitrix* Val.) в умовах Водойми-охолоджувача Запорізької АЕС / Рибогосподарська наука України. 2012. № 3. С. 39–42.
9. Патент № UA 101959 U Україна, МПК (2015.01) C02F 3/00. Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу / винахідники і власники патенту: Щербак В.І., Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Якобчук Ю.О. № u 2015 03296; заявл. 07.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
10. Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу / винахідники і власники патенту: Щербак В.І., Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Якобчук Ю.О.: пат. UA 101959 U Україна, МПК (2015.01) C02F 3/00. № u 2015 03296; заявл. 07.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
11. Kravtsova O.V., Shcherbak V.I. Methodology of assessing the degree of the influence of anthropogenic factors on phytoplankton of urban water bodies / Hydrobiological Journal: 2020. Vol. 56, Issue 5. P. 3–14.
12. Protasov A.A., Zubkova Ye.I., Silayeva A.A. Conceptual approaches to organization of hydrobiological monitoring of technoecosystems of thermal and nuclear power plants / Hydrobiological Journal: 2016. Vol. 52, Issue 2. P. 59–70.

УДК 631.5/631.92
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.17

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ МЕТОДОМ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ БОБОВИМИ БАГАТОРІЧНИМИ ТРАВАМИ

Ткачук О.П., Вергеліс В.І.
Вінницький національний аграрний університет
вул. Сонячна, 3, 21008, м. Вінниця
tkachukop@ukr.net

Досліджено та проведено наукове обґрунтування механізму зниження вмісту рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку у ґрунті після дворічного і чотирирічного вирощування шести видів бобових багаторічних трав: люцерни посівної (*Medicago sativa*), конюшини лучної (*Trifolium pratense*), еспарцету піщаного (*Onobrychis arenaria*), буркуну білого (*Melilotus albus*), лядвенцю рогатого (*Lotus corniculatus*) та козлятнику східного (*Galega orientalis*). Розраховано коефіцієнт накопичення важких металів зерном пшениці озимої у сівозміні при її вирощуванні після досліджуваних видів бобових багаторічних трав.

Представлено дані щодо зміни вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті після дворічного та чотирирічного вирощування трав та вмісту важких металів у листостебловій масі досліджуваних рослин. Розраховано коефіцієнти кореляції та детермінації між досліджуваними чинниками, встановлено силу зв'язків та їх напрям. На основі розрахованих кореляційно-регресійних залежностей проведено наукове обґрунтування механізмів фіторемедіації важких металів з ґрунту за вирощування бобових багаторічних трав.

Рослини еспарцету піщаного мають найвищу інтенсивність біонакопичення свинцю, в той час як інші види бобових багаторічних трав таких залежностей не проявляли, тому у всіх видів трав, як фіторемедіантів важких металів, спостерігається поєднання обох методів біоремедіації: біонакопичення рослинами важких металів та метод перерозподілу рухомих форм важких металів у ґрунті за одночасного впливу на біологічну і мінеральну складову ґрунту. Одержана інформація буде корисною при обґрунтуванні механізмів фіторемедіації важких металів бобовими багаторічними травами. *Ключові слова:* бобові багаторічні трави, фіторемедіація, важкі метали, ґрунт, кореляційно-регресійний зв'язок, наукове обґрунтування.

Scientific justification of the heavy metal content reduction mechanism in the soil by the phytoremediation method with perennial legumes. Tkachuk O., Verhelis V.

The mechanism of reducing the content of mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc in the soil after two and four years of growing six types of leguminous perennial grasses: alfalfa (*Medicago sativa*), meadow clover (*Trifolium pratense*), sand safflower (*Onobrychis arenaria*), white gorse (*Melilotus albus*), horned gorse (*Lotus corniculatus*) and oriental gorse (*Galega orientalis*). The coefficient of accumulation of heavy metals in winter wheat grain in crop rotation during its cultivation after the studied types of leguminous perennial grasses was calculated.

Data are presented on changes in the content of mobile forms of heavy metals in the soil after two and four years of growing herbs and the content of heavy metals in the leaf mass of the studied plants. The coefficients of correlation and determination between the studied factors were calculated, the strength of the connections and their direction were determined. On the basis of the calculated correlation-regression dependencies, a scientific substantiation of the mechanisms of phytoremediation of heavy metals from the soil during the cultivation of leguminous perennial grasses was carried out.

Asparagus plants have the highest intensity of bioaccumulation of lead, while other types of leguminous perennial grasses did not show such dependences, therefore, in all types of grasses, as phytoremediants of heavy metals, a combination of both bioremediation methods is observed: bioaccumulation of heavy metals by plants and the method of redistribution of mobile forms of heavy metals metals in the soil under simultaneous influence on the biological and mineral composition of the soil. The obtained information will be useful in substantiating the mechanisms of phytoremediation of heavy metals by leguminous perennial grasses. *Key words:* leguminous perennial grasses, phytoremediation, heavy metals, soil, correlation-regression relationship, scientific justification.

Постановка проблеми. До важких металів належать хімічні елементи з атомною масою понад 40 та густиною більше 5 г/см^3, що мають властивості металів. Особливу увагу серед елементів групи важких металів викликають ті, що можуть проявляти сильний токсикаційний ефект, зокрема Zn, Cu, Pb та Cd [1].

Науковими дослідженнями встановлено, що фітотоксичність важких металів, крім хімічних властивостей самих елементів (валентність, іонний радіус, здатність утворювати комплексні сполуки), також залежить від ґрунтово-кліматичних умов (фізико-хімічні властивості ґрунту, температура, волога) та видових особливостей рослин і їх стійкості до забруднення [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важкі метали в ґрунті можуть перебувати у різних за розчинністю та рухомістю формах: нерозчинні, що входять до складу ґрунтових мінералів; обмінні, що перебувають у динамічній рівновазі з іонами даного металу в ґрунтовому розчині; рухомі та розчинні форми. Між різними формами важких металів у грунті існує тісний взаємозв'язок, а також можливе перетворення одних форм в інші. Найнебезпечнішими для рослин

у ґрунті є рухомі форми важких металів, які можуть накопичуватися до великих концентрацій та зумовлювати високу токсичність як для ґрунтової біоти, так і для рослин [3].

Встановлено, що свинець і мідь є менш рухомі, ніж інші важкі метали та переважно накопичуються у верхньому шарі ґрунтового покриву [4]. Важливими факторами, що впливають на рухливість цинку в ґрунтах євміст в них глинистих мінералів і величина pH. При підвищенні pH важкі метали переходять в органічні комплекси і зв'язуються ґрунтом. Рухливість кадмію в ґрунті залежить від середовища і окислювально-відновного потенціалу [5].

Рослини по різному накопичують важкі метали [6]. Цинк сильно накопичується рослинами і утримується в них; мідь і кадмій слабо накопичуються і сильно утримуються; свинець – слабо накопичується і слабо утримується в рослинах [7].

Екологічний вплив важких металів на систему «ґрунт – рослина» залежить від виду і хімічних властивостей забруднювача, форм сполук важких металів у ґрунтах і їх трансформації, складу і властивостей ґрунту, біологічних та фізіологічних особливостей рослин, їх фенологічної фази росту і розвитку [8].

У світі проведена значна кількість досліджень з вивчення механізмівпереходу важких металів з ґрунту в рослини [9, 10]. Переважна більшість важких металів поглинаються рослинами через кореневу систему, проте деякі елементи, зокрема кадмій – як через корінь, так і шляхом адсорбції поверхнею вегетативної частини.

Інтенсивність утримання важких металів ґрунтами головним чиномзалежить від pH середовища. Так, для кадмію і свинцю цей впливвиражений більшою мірою, ніж для інших елементів, зокрема міді,значна частина якої зв'язана з органічними комплексами [11].

Альтернативою хімічним методам очистки ґрунту від токсичних важких металів є вирощування на забруднених ґрунтах рослин з підвищеною потребою у тих чи інших мікроелементах. Дослідженнями науковців доведено, що бобові багаторічні трави, зокрема конюшина, здатна накопичувати важкі метали. Це може бути використано як один із методів фітомоніторингу та фіторемідіації ґрунтів [12].

Мета роботи. Останнім часом багато науковців зосереджують свою увагу на з'ясуванні механізмів засвоєння рослинами важких металів з ґрунту з метою його ефективного очищення. Це питання є надзвичайно актуальним для України. Тому підбір ефективних рослин-поглиначів важких металів з ґрунту має важливе наукове і практичне значення.

Методологія. Дослідженнями передбачалось вивчити та науково обґрунтувати вплив вирощування бобових багаторічних трав на прояв біоремедіації важких металів за параметрами зміни вмісту у ґрунті рухомих форм свинцю, кадмію, міді та цинку, а також величини переходу їх у зерно пшениці озимої при вирощуванні його після попередників шести видів бобових багаторічних трав: люцерни посівної, конюшини лучної, еспарцету піщаного, буркуну білого, лядвенцю рогатого та козлятнику східного.

Польові дослідження проводилися впродовж 2013–2019 рр. у Науково-дослідному господарстві «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету на сірих опідзолених середньосуглинкових грунтах. Агрохімічний склад ґрунту дослідної ділянки характеризується такимипоказниками: вміст гумусу – 2,0%, азоту гідролізованого (за Корнфілдом) – 133 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору (за Чіріковим) – 390 мг/кг ґрунту, рухомих форм калію (за Чіріковим) – 64 мг/кг ґрунту, кислотність гідролітична – 2,53 мг.-екв./100 г ґрунту, реакція ґрунтового розчину $pH_{сол.}$ 5,0.

Визначення вмісту у ґрунті рухомих форм важких металів, фізико-хімічних і агроекологічних показників родючості ґрунту, вмісту важких металів у зерні пшениці озимої та зеленій масі бобових багаторічних-трав проводили у сертифікованих та акредитованих лабораторіях:Випробувальному центрі Вінницької філії Державної установи «Держґрунтохорона» та Науково-вимірювальній агрохімічній лабораторії кафедри екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету.

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до ДСТУ 4362:2004, ДСТУ 4770 (2, 3, 9):2007 [13].

Відповідно до стандартизованих методик розраховували коефіцієнтнакопичення важких металів у зерні пшениці озимої як відношення вмісту важких металів у зерні до вмісту їх рухомих форм у ґрунті. Застосовували кореляційно-регресійний аналіз на основі математичної обробки одержаних результатів на комп'ютері з використанням сучасних пакетів програм Excel, Sigma, Statistika [14].

Виклад основного матеріалу. Біоремедіація, як метод зниження у ґрунті вмісту важких металів, ґрунтується на здатності певних видів рослин у процесі свого росту та розвитку перетворювати, перерозподіляти або накопичувати у своїй біомасі важкі метали. У ґрунті це проявляється зниженням вмісту рухомих форм важких металів, де ростуть бобові багаторічні трави та зменшенням коефіцієнта накопичення важких металів вегетативною масою наступних культур, що вирощуються після бобових багаторічних трав у сівозміні.

Результатами наших досліджень встановлено, що за дворічного вирощування бобових багаторічних трав вміст у ґрунті рухомих форм свинцю, кадмію, міді і цинку найістотніше знижується після еспарцету піщаного, а за чотирирічного вирощування: свинцю – після еспарцету піщаного, кадмію і міді – після усіх досліджуваних бобових багаторічних трав,

цинку – після лядвенцю рогатого. Найменший вплив вирощування бобових багаторічних трав на зниження вмісту рухомих форм у ґрунті свинцю за два роки вегетаціїспостерігався після козлятнику східного, кадмію – після буркуну білого ікозлятнику східного, міді і цинку – після люцерни посівної. За чотири роки вегетації бобових багаторічних трав найменш істотне зниження вмісту свинцю у ґрунті було виявлено після люцерни посівної, цинку – після еспарцету піщаного (табл. 1).

Нашими дослідженнями встановлено, що найнижчий коефіцієнт накопичення зерном пшениці озимої свинцю, кадмію, міді і цинку спостерігається при її вирощуванні після попередника люцерни посівної, а найвищий – після лядвенцю рогатого (табл. 2).

Екологічний ефект біоремедіації щодо зниження коефіцієнту накопичення важких металів біологічною масою наступної культури у сівозміні після вирощування бобових багаторічних трав зумовлюється переведенням рухомих форм важких металів у ґрунті у важкодоступні сполуки, які не здатні мігрувати у рослину.

Нами визначені кореляційні залежності між коефіцієнтом накопиченнясвинцю, міді і цинку зерном пшениці озимої та вмістом їх рухомих форм у ґрунті перед вирощуванням пшениці озимої залежно від попередників бобових багаторічних трав. Зокрема коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення свинцю зерном пшениці озимої залежно від вмісту його рухомих форм у ґрунті становить r = –0,617. Це вказує на середній зворотній зв'язок між коефіцієнтом накопичення свинцю зерном пшениці озимої та вмістом його рухомих форм у ґрунті попередника (табл. 3).

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення міді зерномпшениці озимої залежно від вмісту її рухомих форм у ґрунті становить r = –0,500. Це вказує на середній зворотній зв'язок між коефіцієнтом накопичення міді зерном пшениці озимої та вмістом її рухомих форм у ґрунті попередника.

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення цинку зерномпшениці озимої залежно від вмісту його рухомих форм у ґрунті становить r = –0,880. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між коефіцієнтом накопичення цинку зерном пшениці озимої та вмістом його рухомих форм у ґрунті попередника.

Таким чином, встановлено, що чим вищий вміст у ґрунті рухомих форм свинцю, міді і цинку при вирощуванні бобових багаторічних трав у якості попередників пшениці озимої – тим нижчий коефіцієнт їх накопичення має зерно пшениці озимої. Ця залежність є сильною для цинку та середньою – для свинцю і міді.

Таблиця 1

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті залежно від термінувирощування бобових багаторічних трав, M±m

Бобові багаторічні трави	Рік вегетації трав	Вміст рухомих форм важких металів, мг/кг			
		Pb	Cd	Cu	Zn
До вирощування трав	×	5,9±0,22	0,60±0,08	6,8±0,16	9,1±0,08
Люцерна посівна	2	5,7±0,19	0,05±0,01	6,8±0,14	9,1±0,08
	4	3,6±0,19	0,02±0,01	0,1±0,01	1,1±0,14
Конюшина лучна	2	3,0±0,22	0,03±0,01	6,7±0,22	6,6±0,14
Еспарцет піщаний	2	1,5±0,08	0,02±0,01	6,0±0,22	2,8±0,08
	4	1,5±0,07	0,01±0	0,4±0,08	2,4±0,16
Буркун білий	2	3,6±0,08	0,60±0,01	6,4±0,08	4,3±0,08
Лядвенець рогатий	2	2,3±0,14	0,50±0,02	6,6±0,08	4,0±0,08
	4	3,4±0,08	0,02±0,01	0,2±0	0,9±0,08
Козлятник східний	2	5,9±0,22	0,60±0,01	6,5±0,22	5,4±0,08
	4	2,6±0,08	0,01±0	0,1±0	1,1±0,14

Таблиця 2

Коефіцієнт накопичення важких металів у зерні пшениці озимої залежно від попередників, M±m

Попередник	Pb	Cd	Cu	Zn
Люцерна посівна	1,07 ±0,02	0,73 ±0,01	16,72 ±0,05	23,66 ±0,16
Конюшина лучна	1,18 ±0,01	0,85 ±0,01	19,40 ±0,26	26,05 ±0,43
Еспарцет піщаний	1,43 ±0,04	1,70 ±0,13	22,95 ±0,12	34,63 ±0,27
Буркун білий	1,42 ±0,02	1,14 ±0,01	21,50 ±0,09	28,17 ±0,16
Лядвенець рогатий	1,82 ±0,03	1,82 ±0,03	25,62 ±0,17	34,71 ±0,75
Козлятник східний	1,27 ±0,02	1,00 ±0,01	20,25 ±0,27	31,16 ±0,76

Таблиця 3

Кореляційно-регресійні залежності між еколого-агрохімічними параметрами ґрунту та накопиченням важких металів у зерні пшениці озимої

Кореляційні ланки	Коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, R^2	Сила зв'язку
Коефіцієнт накопичення Pb у зерні / вміст рухомих форм Pb у ґрунті	–0,617	0,38	середній
Коефіцієнт накопичення Cu у зерні / вміст рухомих форм Cu у ґрунті	–0,500	0,25	середній
Коефіцієнт накопичення Zn у зерні / вміст рухомих форм Zn у ґрунті	–0,880	0,25	сильний
Коефіцієнт накопичення Cd у зерні / гідролітична кислотність ґрунту	0,530	0,28	середній
Коефіцієнт накопичення Zn у зерні / гідролітична кислотність ґрунту	0,530	0,28	середній
Коефіцієнт накопичення Cd у зерні / реакція ґрунтового розчину pH	–0,520	0,26	середній
Коефіцієнт накопичення Zn у зерні / реакція ґрунтового розчину pH	–0,550	0,30	середній
Вміст Pb у зерні / вміст гумусу	–0,825	0,68	сильний
Вміст Cd у зерні / вміст гумусу	–0,823	0,68	сильний
Вміст Cu у зерні / вміст гумусу	–0,803	0,64	сильний
Вміст Pb у зерні / вміст рухомого P у ґрунті	–0,630	0,39	середній
Вміст Cu у зерні / вміст рухомого P у ґрунті	–0,600	0,36	середній
Вміст Zn у зерні / вміст рухомого P у ґрунті	–0,520	0,27	середній
Вміст Pb у зерні / вміст рухомого K у ґрунті	–0,690	0,48	сильний
Вміст Cu у зерні / вміст рухомого K у ґрунті	–0,730	0,53	сильний
Вміст Cu у ґрунті / вміст рухомого P у ґрунті	–0,795	0,63	сильний
Вміст Zn у ґрунті / вміст рухомого P у ґрунті	–0,600	0,36	середній
Вміст Pb у ґрунті / вміст гумусу	–0,990	0,99	сильний
Вміст Cd у ґрунті / вміст гумусу	–0,900	0,82	сильний
Вміст Pb у ґрунті / вміст рухомого P у ґрунті	–0,970	0,96	сильний
Вміст Cd у ґрунті / вміст рухомого P у ґрунті	–0,950	0,73	сильний
Вміст Cd у ґрунті / вміст рухомого K у ґрунті	–0,730	0,45	сильний
Вміст Pb у ґрунті / вміст рухомого K у ґрунті	–0,940	0,88	сильний
Вміст Cu у ґрунті / коефіцієнт структурності ґрунту	–0,640	0,42	середній
Вміст Zn у ґрунті / коефіцієнт структурності ґрунту	–0,510	0,26	середній
Вміст Cu у ґрунті / вологість ґрунту	–0,940	0,88	сильний
Вміст Zn у ґрунті / вологість ґрунту	–0,67	0,45	сильний

Біоремедіація важких металів з ґрунту з використанням бобових багаторічних трав поділяється на два різновиди: метод біонакопичення рослинами важких металів та метод перерозподілу рухомих форм важких металів у ґрунті за одночасного впливу на біологічну і мінеральну складову ґрунту. Це проявляється при оптимізації агроекологічного стану ґрунту внаслідок підвищення вмісту гумусу, поживних речовин, вологи, нормалізації гідролітичної кислотності, реакції ґрунтового розчину pH, об'ємної маси, поліпшення структури ґрунту, властивостей ґрунтової системи загалом, розширенні популяції корисних ґрунтових мікроорганізмів, що підсилюють біодеградацію важких металів [15]. Зазначені методи біоремедіації важких металів у ґрунті можуть функціонувати окремо чи поєднуватись міжсобою залежно від вирощуваних видів бобових багаторічних трав.

Ефективність методу біонакопичення бобовими багаторічними травами важких металів у власній вегетативній масі визначається величиною вмісту свинцю, кадмію, міді і цинку у зеленій масі цих трав. Встановлено, що найбільше свинцю акумулюється у зеленій масі еспарцету піщаного, кадмію і цинку – у зеленій масі козлятнику східного, міді – конюшини лучної. В той же час найменше свинцю накопичується у зеленій масі буркуну білого, кадмію і міді – лядвенцю рогатого, цинку – у зеленій масі люцерни посівної (табл. 4).

Оскільки найменший вміст рухомих форм свинцю у ґрунті спостерігається після вирощування еспарцету піщаного, вегетативна маса якого відзна-

Таблиця 4

Вміст важких металів у зеленій масі бобових багаторічних трав, мг/кг, M±m

Бобові багаторічні трави	Свинець	Кадмій	Мідь	Цинк
Люцерна посівна	0,80±0,03	0,08±0,01	5,2±0,3	15,7±0,3
Конюшина лучна	0,90±0,03	0,07±0,01	7,3±0,1	20,0±0,7
Еспарцет піщаний	0,95±0,01	0,06±0,01	7,0±0,3	16,5±0,6
Буркун білий	0,60±0,04	0,06±0,01	4,7±0,1	17,0±0,4
Лядвенець рогатий	0,70±0,04	0,05±0,01	5,1±0,01	18,0±0,3
Козлятник східний	0,80±0,01	0,09±0,01	7,2±0,3	24,0±0,6

чається найвищим вмістом свинцю серед усіх видів досліджуваних бобових багаторічних трав, то саме рослини еспарцету піщаного мають найвищу інтенсивність біонакопичення свинцю. Інші види бобових багаторічних трав таких залежностей не проявляли, тому можна зробити висновок, що у всіх видів бобових багаторічних трав, як фіторемедіантів важких металів, спостерігається поєднання обох методів біоремедіації: біонакопичення і перерозподілу.

Коефіцієнт кореляції вмісту кадмію у зерні пшениці озимої залежно відвмісту гумусу у ґрунті становить r = –0,823. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом кадмію у зерні пшениці озимої та вмістом гумусу у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм міді у ґрунті залежно від вмісту рухомого фосфору у ґрунті, становить r = –0,795. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм міді та фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм цинку у ґрунті залежно від вмісту рухомого фосфору у ґрунті становить r = –0,600. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм цинку та фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав залежно від вмісту гумусу, становить r = –0,990. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм свинцю у ґрунті та гумусу у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм кадмію у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав залежно від вмісту гумусу становить r = –0,900. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм кадмію та гумусу у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту свинцю у зерні пшениці озимоїзалежно від вмісту гумусу на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,825. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом свинцю у зерні та вмістом гумусу у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту міді у зерні пшениці озимої залежновід вмісту гумусу у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,803. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом міді у зерні та вмістом гумусу у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту цинку у зерні пшениці озимоїзалежно від вмісту рухомого фосфору у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,520. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом міді у зерні та вмістом рухомого фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту свинцю у зерні пшениці озимоїзалежно від вмісту рухомого фосфору на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,630. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом свинцю у зерні та вмістом фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту міді у зерні пшениці озимої залежновід вмісту рухомого фосфору у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,600. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом міді у зерні та вмістом рухомого фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті від вмісту рухомого фосфору у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,970. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм свинцю та фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм кадмію у ґрунті від вмісту рухомих форм фосфору на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,950. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм кадмію та фосфору у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції вмісту рухомих форм кадмію у ґрунті від вмісту рухомого калію у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,730. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм кадмію та калію у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті від вмісту рухомого калію у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,940. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм свинцю та калію у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту свинцю у зерні пшениці озимої відвмісту рухомого калію у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,690. Це вказує на сильний зворотній

зв'язок між вмістом свинцю у зерні та вмістом рухомого калію у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту міді у зерні пшениці озимої відвмісту рухомого калію у ґрунті на четвертий рік вегетації бобових багаторічних трав становить r = –0,730. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом міді у зерні та вмістом рухомого калію у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення кадмію у зерні пшениці озимої від величини гідролітичної кислотності ґрунту становить r = 0,532. Це вказує на середній прямий зв'язок між коефіцієнтом накопичення кадмію у зерні та величиною гідролітичної кислотності ґрунту.

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення цинку у зерніпшениці озимої від величини гідролітичної кислотності ґрунту становить r = 0,533. Це вказує на середній прямий зв'язок між коефіцієнтом накопичення цинку у зерні та величиною гідролітичної кислотності ґрунту.

Отже, нашими дослідженнями виявлено статистичну залежність зростання коефіцієнту накопичення кадмію і цинку у зерні пшениці озимої при зростанні величини гідролітичної кислотності ґрунту і цей зв'язок є середнім.

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення кадмію у зерніпшениці озимої від величини реакції ґрунтового розчину pH становить r = –0,519. Це вказує на середній зворотній зв'язок між коефіцієнтом накопичення кадмію у зерні та величиною реакції ґрунтового розчину pH.

Коефіцієнт кореляції зміни коефіцієнта накопичення цинку у зерні пшениці озимої від величини реакції ґрунтового розчину pH становить r = –0,548. Це вказує на середній зворотній зв'язок між коефіцієнтом накопичення цинку у зерні та величиною реакції ґрунтового розчину pH.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм міді у ґрунті від величини коефіцієнта структурності ґрунту становить r = –0,644. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм міді у ґрунті та величиною коефіцієнта структурності ґрунту.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм цинку у ґрунті від величини коефіцієнта структурності ґрунту становить r = –0,511. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм цинку у ґрунті та величиною коефіцієнта його структурності.

Отже, нашими дослідженнями виявлено статистичну залежність між зростанням коефіцієнта структурності ґрунту за чотири роки вегетації бобових багаторічних трав та зменшенням вмісту рухомих форм міді та цинку у ґрунті. Цей зв'язок є середній.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм міді у ґрунті від величини вологості ґрунту становить r = –0,939. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм міді у ґрунті та його вологістю.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм цинку у ґрунті від величини його вологості становить r = –0,670. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм цинку та вологістю ґрунту.

Отже, встановлено залежність між зменшенням вмісту рухомих форм кадмію, міді та цинку у ґрунті і збільшенням вологості ґрунту. За міддю і цинком цей зв'язок є сильним, а за кадмієм – середнім.

Таким чином, інтенсивне зниження вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті посівами еспарцету піщаного і люцерни посівної, як попередниками пшениці озимої та коефіцієнта накопичення важких металів у його зерні відповідно, зумовлене низькими величинами їх структури ґрунту після зазначених видів бобових багаторічних трав. Також усі види бобових багаторічних трав є сильними накопичувачами у ґрунті мікроорганізмів, які посилюють біодеградацію важких металів.

Метод біонакопичення рослинами бобових багаторічних трав важкихметалів передбачає використання видів, що швидко ростуть, дають великийприріст та формують за короткі строки велику біомасу [15]. Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм свинцю у ґрунті від урожайностізеленої маси бобових багаторічних трав другого року вегетації становить r = –0,548. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм свинцю у ґрунті та урожайністю зеленої маси бобових багаторічних трав.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм міді у ґрунті від урожайності зеленої маси бобових багаторічних трав другого року вегетації становить r = –0,662. Це вказує на сильний зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм міді у ґрунті та урожайністю зеленої маси бобових багаторічних трав.

Отже, нами виявлено залежність між зменшенням вмісту рухомих форм свинцю і міді у ґрунті та збільшенням урожайності зеленої маси бобових багаторічних трав. За міддю ця залежність є сильною, а за свинцем – середньою. Тому, найнижчий вміст у ґрунті рухомих форм важких металів після вирощування еспарцету піщаного також зумовлений формуванням його травостоєм на другий рік вегетації найбільшої вегетативної маси серед усіх видів трав.

Біоремедіація за способом впливу рослин на важкі метали у ґрунтівключає такі процеси: фітостабілізація – накопичення рослиною важких металів за рахунок їх поглинання корінням рослин або утримання важких металів у прикореневій зоні – ризосфері з послідуючим їх осадженням. Це найпоширеніший спосіб зниження вмісту важких металів у ґрунті за вирощування бобових багаторічних трав; фітодеградація – розкладання важких металів з ґрунту рослинами в ході метаболічних процесів після поглинання або за впливу кореневих виділень до поглинання. Такими кореневими виділеннями володіють рослини

еспарцету піщаного. Це також є причиною найменшого вмісту рухомих форм важких металів у ґрунті, де вирощували еспарцет піщаний; фітовипаровування – поглинання важких металів з ґрунту рослиною та їх виведення у процесі транспірації. Цей процес визначається витратою води посівами бобових багаторічних трав. Тобто, чим більше посів витрачає вологи за вегетацію – тим менший вміст рухомих форм важких металів у ґрунті.

Коефіцієнт кореляції зміни вмісту рухомих форм кадмію у ґрунті від величини витрати вологи бобовими багаторічними травами з ґрунту становить r = –0,522. Це вказує на середній зворотній зв'язок між вмістом рухомих форм кадмію у ґрунті та витратою вологи з ґрунту бобовими багаторічними травами.

Ризодеградація – це розкладання важких металів у ґрунті мікроорганізмами ризосфери. Посилення ефективності функціонуваннямікробіоти за рахунок біологічно активних кореневих виділень рослин. Цейчинник також є надзвичайно потужним, оскільки під травостоєм бобовихбагаторічних трав накопичується найбільша кількість мікроорганізмів, порівняно з іншими видами рослин.

Ефективний фіторемедіант забрудненого важкими металами ґрунту має відзначатися стійкістю до забруднювача, здатністю накопичувати високі рівні важких металів у біомасі, наявністю розгалуженої кореневої системи, яка здатна поглинати велику кількість води з ґрунту, характеризуватись високим потенціалом росту. Саме бобові багаторічні трави мають такі ознаки. Проте, за високої толерантності рослин до важких металів, вони, як правило, повільно ростуть, мають невелику біомасу. І навпаки – рослини з великою біомасою та розгалуженою кореневою системою характеризуються невисокою толерантністю до важких металів. Остання теза до більшості бобових багаторічних трав, крім буркуну білого, як фіторемедіантів важких металів, є не характерна, оскільки ці види бобових багаторічних трав швидко ростуть та формують велику біомасу, одночасно знижуючи концентрацію важких металів у ґрунті.

Головні висновки. Рослини еспарцету піщаного мають найвищу інтенсивність біонакопичення свинцю, в той час як інші види бобових багаторічних трав таких залежностей не проявляли, тому у всіх видів трав, як фіторемедіантів важких металів, спостерігається поєднання обох методів біоремедіації: біонакопичення і перерозподілу. Одержана інформація буде корисною при обґрунтуванні механізмів фіторемедіації важких металів бобовими багаторічними травами.

Література

1. Сачко Р.Г. Моніторинг важких металів у трофічному ланцюгу довкілля – корми – тварина – тваринна продукція. URL: old.inenbiol.com/ntb/ntb8/50.pdf. (дата звернення 20.04.2015).
2. Лихолат Ю.В., Григорюк І.П. Використання дерноутворюючих трав для діагностики рівня забруднення навколишнього середовища важкими металами. *Доповіді НАН України*, 2005. № 8. С. 196–207.
3. Сачко Р.Г. Вміст важких металів у довкіллі, кормах та продукції ВРХ в біогеохімічній провінції Прикарпаття. URL: irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?…2. (дата звернення 20.04.2015).
4. Разанов С.Ф., Ткачук О.П., Овчарук В.В. Інтенсивність накопичення важких металів зерном пшениці озимої залежно від попередників. *Збалансоване природокористування*, 2018. № 1. С. 165–169.
5. Герасимчук Л.О., Валерко Р.А. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd у системі «грунт-рослина». *Вісник Харківського національного аграрного університету,* 2013. № 1. С. 244–248.
6. Денчиля-Сакаль Г.М. Особливості акумуляції важких металів в рослинах *Trifolium pratense* L. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія,* 2012. Вип. 33. С. 189–191.
7. Флоря Л.В. Оцінка рівня забруднення грунтів важкими металами та їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур у північно-західному Причорномор'ї. *Вісник Одеського державного екологічного університету*, 2012. Вип. 13. С. 131–141.
8. Терек О.І. Механізми адаптації та стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля. *Журнал агробіології та екології*, 2004. Т.1. № 1–2. С. 41–56.
9. Deng H., Ye Z.H., Wong M.H. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal – contaminatedsitesin China. *Environmental Pollution*, 2004. № 132. P. 29–40.
10. Hea Z.L., Yanga X.E., Stoffellab P.J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elementsin Medicine and Biology*, 2005. № 19. P. 125–140.
11. Троїцький М.О., Дмитрієва Л.А. Міграція важких металів у ланці «грунт-рослини» в агроландшафтах степу України. URL: http://lib.chdu.edu. ua/pdf/naukpraci/ecology/2012/179-167-8.pdf (дата звернення 20.04.2015).
12. Семенов А.Д., Сахно В.П., Мартиненко В.М. Забруднення важкими металами грунту і рослин у смугах відчуження залізничних колій. *Агроекологічний журнал*, 2008. № 3. С. 50–53.
13. ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009.01.01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 117 с.
14. Вергунова І.М. Основи математичного моделювання для аналізу та прогнозу агрономічних процесів. К.: Нора-принт, 2000. 146 с.
15. Самохвалова В.Л. Біологічні методи ремедіації грунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*, 2014. Том 8. № 1. С. 217–236.

ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 502.14:353.1
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.18

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТРАНСПОРТУ

Сорочинська О.Л.
Державний університет інфраструктури та технологій
вул. Кирилівська, 9, 04071, м. Київ
ellena06.84@ulr.net

Розвиток виробництва та зростання економічної активності призвели до збільшення кількості природних ресурсів, які людина використовує в процесі виробництва, збільшуючи антропогенний тиск на навколишнє середовище та порушуючи баланс природного середовища. Разом з виснаженням не відновлюваних сировинних та енергетичних ресурсів зростає забруднення навколишнього середовища, особливо води та повітря, скорочуються площі лісів і родючих земель, зникають окремі види флори і фауни. Все це в кінцевому підсумку підриває природно-ресурсний потенціал суспільного виробництва та негативно впливає на здоров'я людей. Концептуальні засади сталого розвитку передбачають запровадження певної системи базових підходів до екологізації та гуманізації економіки і соціальної діяльності. Використання недосконалих технологічних процесів і недостатня комплексність сировинної бази в промисловості, а також значне зростання чисельності населення при одночасному підвищенні якості життя призводять до утворення величезної кількості промислових і побутових відходів. Відходи від підприємств транспортної інфраструктури є також причиною антропогенного забруднення навколишнього середовища у глобальному масштабі та неминучим наслідком споживацького ставлення до життя і неприйнятно низького рівня використання ресурсів. Поводження з відходами-діяльність, що включає збирання, розміщення, утилізацію, перероблення, знешкодження, перевезення,зберігання, захоронення, знищення та транскордонне переміщення відходів, а також організаційно-технічні заходи щодо технічного регулювання поводження з відходами. Пріоритетними завданнями екологічно безпечного поводження з відходами є впровадження ефективної системи роздільного збору, що дозволить на 25–30% скоротити обсяг відходів. З метою екологічної оцінки поводження з відходами та впровадження європейської системи управління відходами на підприємствах транспортної інфраструктури України було проаналізовано обсяги накопичення та стан збору, утилізації й захоронення твердих відходів на підприємствах транспортної галузі, зокрема на підприємствах залізничного транспорту.
Ключові слова: поводження з відходами, транспортна інфраструктура, утилізація відходів, рециклінг.

Environmental problems of waste storage and disposal at transport enterprises. Sorochynska O.
The development of production and the growth of economic activity have led to an increase in the amount of natural resources that man uses in the production process, increasing anthropogenic pressure on the environment and disrupting the balance of the natural environment. Along with the depletion of non-renewable raw and energy resources, environmental pollution, especially water and air, is increasing, the areas of forests and fertile lands are shrinking, and certain species of flora and fauna are disappearing. All this ultimately undermines the natural resource potential of social production and negatively affects people's health. The conceptual principles of sustainable development provide for the introduction of a certain system of basic approaches to environmentalization and humanization of the economy and social activity. The use of imperfect technological processes and the insufficient complexity of the raw material base in industry, as well as a significant increase in the population with a simultaneous increase in the quality of life, lead to the formation of a huge amount of industrial and household waste. Waste from transport infrastructure enterprises is also the cause of anthropogenic pollution of the environment on a global scale and the inevitable consequence of a consumerist attitude to life and an unacceptably low level of resource use. Waste management is an activity that includes the collection, placement, disposal, processing, disposal, transportation, storage, burial, destruction and transboundary movement of waste, as well as organizational and technical measures for the technical regulation of waste management. The priority tasks of environmentally safe waste management are the introduction of an effective system of separate collection, which will allow to reduce the amount of waste by 25–30%. For the purpose of environmental assessment of waste management and implementation of the European waste management system at transport infrastructure enterprises of Ukraine, the volumes of accumulation and the state of collection, disposal and disposal of solid waste at enterprises of the transport industry, in particular at railway transport enterprises, were analyzed. *Key words:* waste management, transport infrastructure, waste disposal, recycling.

Постановка проблеми. Стратегія сталого розвитку включає екологічну безпеку як один з елементів, що набуває все більшого значення в сучасному глобалізованому світі. Реалізація цілей сталого розвитку стає пріоритетним напрямом для досягнення гармонії між економічним зростанням, соціальною стабільністю та захистом довкілля. Водночас, накопичення відходів у країнах світу, в тому числі і в Україні, є глобальною проблемою, яка потребує належного вирішення. Статистичні дані щодо динаміки утворення та накопичення відходів свідчать про їх систематичне зростання. Цей процес загрожує здоров'ю населення та навколишньому середовищу.

Актуальність дослідження. Проблема твердих побутових відходів в Україні наразі має велике значення. В Україні понад 90% побутових відходів захоронюють на полігонах і лише 3,2% переробляється, що не співпадає з європейськими стандартами. Так у країнах ЄС управління відходами включає запобігання утворенню сміття, повторне використання, рециклінг та розширену відповідальність виробника. У 2021 рік в Україні утворилося понад 10 млн тонн побутових відходів, а на одну людину в середньому припадає 300 кг сміття, що може спричинити масштабну екологічну катастрофу. Окрім побутових відходів щороку зростає кількість відходів від підприємств в тому числі і підприємств транспортної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання, пов'язані з сучасним станом утворення відходів та методами їх утилізації, досліджувалися у працях вітчизняних та зарубіжних вчених, так наприклад Л. Щаслива, А. Пашков, Г. Спринська – вивчали еколого-економічний досвід утилізації твердих побутових відходів у провідних країнах світу [1]. Розробка ефективних механізмів управління відходами та методів і систем поводження з відходами досліджується в наукових роботах Є. Михайлової, Г. Панчевої, Г. Резніченко, В. Погребенника, І. Коваль, Е. Джумеля [2, 3], а питанням удосконалення практик поводження з відходами з урахуванням специфіки європейських країн викладено в наступних дослідженнях – М. Вадівала, М. Вагнагі [4]. Такі автори як В. Бабаєв, В. Панов, Я. Хайло, М. Горох, І. Коцюба, І. Пацева, О. Герасимчук, А. Кагукіна у своїх наукових працях розглядають питання інтегрованого управління комунальними відходами в Україні, поетапного залучення до переробки твердих побутових відходів, поводження з твердими побутовими відходами, прогнозування та моделювання накопичення відходів [5, 6, 7].

Виклад основного матеріалу. Входження України до міжнародної спільноти, впровадження ринкових методів управління як економікою, так і окремими підприємствами і організаціями вимагає знання та дотримання сучасних єдиних норм і правил в галузі екологічної діяльності, впровадження екологічно орієнтованих методів управління. 9 липня 2023 року набув чинності новий Закон України «Про управління відходами», що кардинально змінює усю систему поводження з відходами [8]. Цей документ запускає реформу управління відходами та наближає українське законодавство до законодавства Європейського союзу. Законом України «Про управління відходами» передбачається наступні етапи:

– нова дієва дозвільна система;
– децентралізація управління відходами;
– багаторівневе планування;
– розбудова інфраструктури;
– європейські принципи – ієрархія управління відходами, розширена відповідальність виробника – «забруднювач платить».

На шляху прямування до Європейського союзу особливо важливо відповідати європейському законодавству, тому перед більшістю галузей України стоїть завдання інтегруватися та створити якісну систему управління на підприємствах що відповідатиме сучасним вимогам, зокрема і поводженню та утилізації відходів. Однією з важливих економічних галузей України є транспортна галузь, деякі підприємства якої вже розпочали свій курс на інтегрування до ЄС, та відкривають там свої філіали. Для прикладу АТ «Укрзалізниця» вже зареєструвала в Польщі компанію Ukrainian Railways Cargo Poland, в зв'язку з чим компанії вкрай необхідно відповідати міжнародним вимогам та стандартам, в тому числі екологічним.

Специфічною особливістю підприємств залізничного транспорту є багатоплановість виконуваних виробничих процесів, пов'язаних з перевезенням вантажів та пасажирів, ремонтом рухомого складу і магістралей, будівництвом нових залізничних колій і об'єктів, допоміжна господарська діяльність. Різнорідна діяльність залізничних підприємств обумовлює значну номенклатуру відходів, що утворюються при здійсненні господарської діяльності (151 вид відходів).

Залізничний транспорт – галузь, де утворюється досить велика кількість відходів, у тому числі і небезпечних. Відходи є результатом технологічних процесів виробництва, процесів виділення опадів при очищенні виробничих стічних вод та ін. Відходи залізничного транспорту можуть містити нафтопродукти, токсичні хімічні сполуки, органічні сполуки, важкі метали, люмінесцентні лампи електричного освітлення, відходи лаків і фарб, забруднені маслами і мастилами ганчір'я та грунт з територій підприємств. До найбільш небезпечних відносяться шлами з очисних споруд гальванічних дільниць, відходи з хімчисток робочого одягу, плаваючі нафтопродукти і нафтошлами [10].

У локомотивних і вагонних депо відходи утворюються в процесах ремонту та обслуговування рухомого складу: при механічній і термічній обробці металевих і полімерних виробів, нанесенні лакофарбових і гальванічних покриттів, при зварюванні і наплавленні, в мастильних операціях, на акумуляторних ділянках та ін. На шпалопросочувальних заводах (на ділянках просочення шпал) утворюються токсичні відходи пов'язані із застосуванням масляних антисептиків. На підприємствах з виробництва консистентних мастил і регенерації масел токсичні відходи утворюються на всіх етапах виробничого процесу. Вони з'являються і на ділянках з нанесення полімерних захисних і декоративних покриттів на деталі пасажирських вагонів при їх ремонті. На об'єктах вантажної роботи токсичні відходи утворюються від пилення цементу, добрив, вапна та інших хімічних вантажів у процесі проведення навантажувально-розвантажувальних робіт.

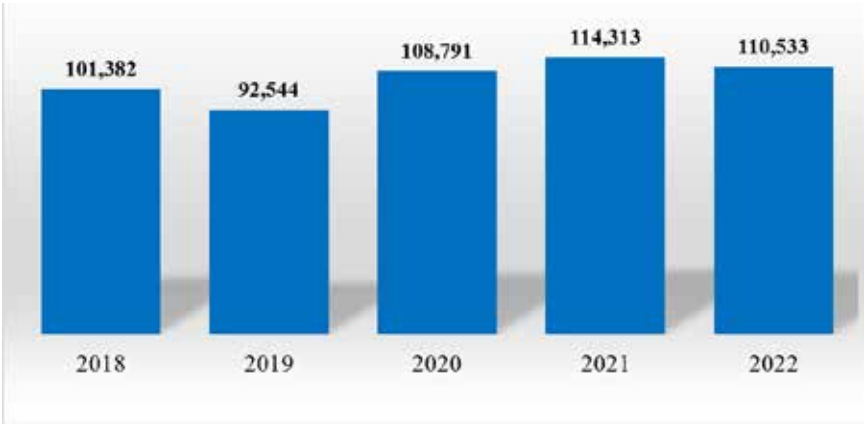


Рис. 1. Динаміка утворення відходів АТ «Укрзалізниця», (тис.т) [9]

Рис. 2. Динаміка утворення відходів АТ «Укрзалізниця» у 2002 р., тис.т

Залізничний транспорт, як і більшість інших галузей, поки не в змозі переробити всі власні відходи. Велика частина утворюваних на підприємствах відходів вивозиться на санкціоновані полігони та сміттєзвалища, частково спалюються, частково регенеруються (старе мастило, нафтопродукти) або утилізуються (відпрацьовані люмінесцентні лампи, деревні відходи). Металеві відходи після сортування та оброблення зазвичай передаються на металургійні підприємства на переробку. Чисті однорідні відходи використовуються без переробки в якості вторинних ресурсів. Однак зберігається тенденція накопичення частини відходів на територіях підприємств. Протягом 2022 року утворилося 110,533 тис.тон відходів проти 114,313 тис.тон відходів у 2021 році, що на 1% менше, ніж у 2021 році (рис. 2) [9].

Відходи сфери виробництва та споживання в залежності від фізичних, хімічних та біологічних характеристик відходів або окремих інгредієнтів можна розділити на чотири класи небезпеки: I-й клас – надзвичайно небезпечні; II-й клас – високонебезпечні; III-й клас – помірно небезпечні; IV-й клас – мало небезпечні.

У 2022 році на АТ «Укрзалізниця» утворилося відходів I–III класів небезпеки в обсязі 16,16 тис.тон проти 23,0 тис.тон у 2021 році, що на 6,84 тис.тон (29,74%) менше, ніж у 2021 році. Відходи I-III класів небезпеки у 2022 році становили 14,6% від загальної кількості утворених відходів і саме вони за статистикою можуть створювати ризики для здоров'я та навколишнього середовища. Із загального обсягу утворених відходів у 2022 році 94,3 тис.тон становили відходи IV класу небезпеки (у 2021 році – 91,0 тис.т), з них тверді побутові відходи – 51,6 тис.т (у 2021 році – 44,6 тис.т) (рис. 3) [9].

Підприємства АТ «Укрзалізниця» безперервно вживають заходи щодо скорочення обсягів утворення відходів внаслідок їх діяльності та зменшення негативного впливу відходів на навколишнє середовище, а саме: проводять заміну люмінесцентних ламп на енергозберігаючі; виготовляють та виділяють кошти на придбання сучасних контейнерів для тимчасового зберігання відходів; ліквідовують несанкціонованих сміттєзвалища на землях залізничного транспорту; передають відходи спеціалізованим підприємствам за договорами, облаштовують на вокзалах контейнери для сортування сміття.

Із початком повномасштабної війни в Україні утворився новий вид відходів – відходи від руйнувань. Частка таких відходів в країні, нажаль щоразу

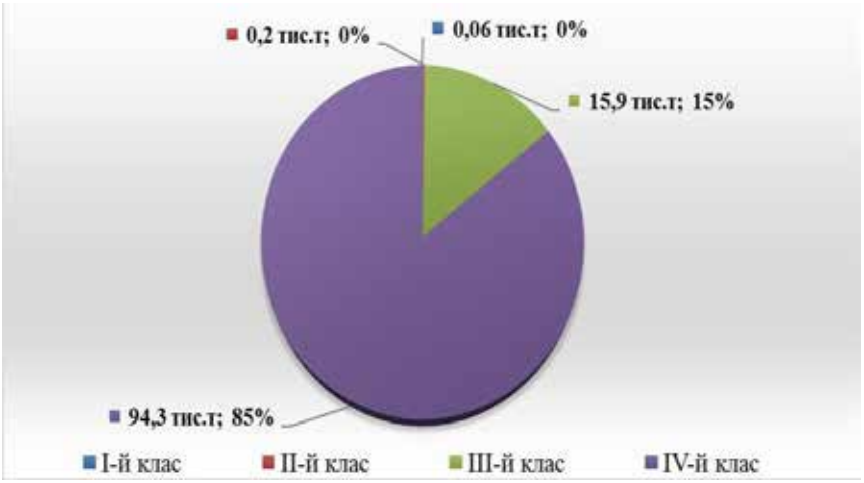


Рис. 3. Відношення утворених у 2022 р. відходів по класах небезпеки, тис.т

Рис. 4. Об'єми утворення відходів від руйнування інфраструктури АТ «Укрзалізниця» в наслідок бойових дій

збільшується через руйнування зокрема і транспортної інфраструктури внаслідок ракетних ударів, артилерійських атак та ведення активних бойових дій в ряді областей України. Механізм поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) транспортної інфраструктури, з метою запобігання та зменшення негативного впливу таких відходів на навколишнє природне середовище та здоров'я людини, попадає під дію Порядку, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27.09.2022 № 1073 «Про затвердження Порядку поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків» (далі – Порядок) [11].

Порядок застосовується під час виконання комплексу відновлювальних робіт з ліквідації наслідків збройної агресії та бойових дій під час воєнного стану та у відбудовний період. Зокрема Порядком визначено, що поводження з відходами від руйнувань передбачає комплекс організаційно-технічних заходів та робіт (операцій), що здійснюються з метою забезпечення екологічно безпечного збирання, перевезення, сортування, зберігання, оброблення (перероблення), утилізації, видалення, знешкодження і захоронення таких відходів.

АТ «Укрзалізниця» за період з 24.02.2022 по 31.12.2022 утворилося (651,535 тон та 310,65 м³ відходів від руйнувань (рис. 4) [9].

Відповідно до вимог Порядку даний вид відходів повинен зберігатися у спеціально відведених місцях на територіях підприємств. Проте, «відходи війни» можна повернути у цивільний обіг та використати повторно, як вторинну сировину. Наприклад: «чернець», так називають подрібнений метал, може бути повернутий в обіг після переплавлення; будівельні «кам'яні» залишки можуть бути придатні для

Рис. 5. П'ятиступенева ієрархія поводження з відходами

виробництва різного виду будівельної продукції. Насамперед ідеться про підсипки під дороги, ними ж можна засипати вирви від розривів снарядів; вцілілі уламки будинків використовувати як будівельні матеріали; повалені дерева йдуть на друзки та сировину для опалення; щебінь, отриманий із переробленого бетону, слугує для засипки боліт і котлованів, а також для створення тимчасових доріг; асфальт повторно застосовується у будівництві доріг, попередньо його піддають термічній обробці за дуже високих температур; арматура так само повторно використовується у будівництві.

Для зменшення негативного впливу промислових та побутових відходів від транспортної інфраструктури на навколишнє природне середовище слід проводити інвентаризацію джерел утворення відходів, місць накопичення та зберігання відходів, оцінку токсичності, вивчення впливу на довкілля, впровадження ресурсозберігаючих технологій переробки та повторного використання відходів у виробництві. Найбільш перспективним і доцільним з економічної та екологічної точки зору є створення регіональних сміттєпереробних комплексів. Такі комплекси використовують екологічно чисті технології переробки, мають потенціал для виробництва додаткової енергії та тепла, переробляють всі тверді та рідкі відходи, мають відносно низькі капітальні та операційні витрати і короткий термін окупності [12].

Також доцільно застосовувати ієрархію поводження з відходами, яка має на меті запобігти утворенню відходів та мінімізувати їхню кількість (рис. 5) [8].

Пріоритетами п'ятиступеневої ієрархії управління відходами є запобігання утворення відходів, а якщо запобігти цьому не вдається, то здійснюється їх повторне використання. Якщо й це неможливо то їх переробляють на продукцію, матеріали або речовини. У разі неможливості здійснити попередні операції відбувається їх захоронення у спеціально обладнаних місцях.

Висновки. Подальший розвиток підприємств транспортної інфраструктури потрібно реалізовувати з дотриманням відповідних екологічних вимог, що в сучасних умовах є надзвичайно актуальним для України, оскільки екологічні зобов'язання, задекларовані Україною у рамках міжнародних договорів, спрямованих на перехід до вуглецевонейтральної економіки, вимагають здійснення заходів щодо системної екологізації всіх секторів промислового виробництва. Відповідно до вимог українського законодавства, підприємства транспортної інфраструктури щороку здійснюють різноманітні заходи у сфері поводження з відходами. Серед них: ліквідація несанкціонованого скидання відходів місцевими жителями, що негативно впливає на навколишнє середовище; будівництво сучасних сміттєспалювальних установок та установок з утилізації мастил і електролітів; будівництво та розміщення місць і об'єктів зберігання відходів; впровадження технологій з використання вторинних ресурсів. З метою підвищення ефективності організації та здійснення діяльності у сфері поводження з відходами необхідно: чіткіше налагодити та автоматизувати належне введення форми первинної облікової документації щодо обліку відходів; проводити систематичне підвищення кваліфікації фахівців у сфері поводження з відходами; забезпечити достовірність ведення державного статистичного спостереження у частині утворення та поводження з відходами.

Література

1. Щаслива Л. А., Пашков А. П., Спринська Г. М. Передовий світовий еколого-економічний досвід утилізації твердих побутових відходів. Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології : зб. мат. Національного форуму, 22–23 листопада 2018 р. К. : Центр екологічної освіти та інформації, 2018. С. 15–17.

2. Михайлова Є.О., Панчева Г.М., Резніченко Г.М. Ефективні механізми поводження з твердими побутовими відходами в Україні. Комунальне господарство міст, 2019, том 5, випуск 151, с. 37–44. DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-37-44
3. Погребенник В.Д., Коваль І.І., Джумеля Е.А. Тенденції розвитку методів і систем управління відходами. Науковий вісник НЛТУ України, 2019. 29(1), с. 78–82. https://doi.org/10.15421/40290117
4. Vadivala M., Vagnani M. Integrated solid waste management based on 3R's/ International jornal of advanced research in engineering, science and management (UJARESM), 2015. Pp. 1–6.
5. Бабаєв В.М., Панов В.В., Хайло Я.М., Горох М.П. (2017). Комплексна система управління у сфері поводження з твердими побутовими відходами. Комунальне господарство міст, 2017. № 130, с. 1–9.
6. Коцюба І.Г., Подчашинський Ю.О., Лико С.М., Лук'янова С.М. Математичне моделювання та прогнозування обсягів накопичення твердих комунальних відходів міста. Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету». Київ, 2017 року. Вип. № 2/2017. С. 34–41.
7. Пацева І.Г., Герасимчук О.Л., Кагукіна А.М системний підхід управління відходами об'єднаних територіальних громад. Екологічні науки, 2022. № 4(43), с. 181–184.
8. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text
9. Інформаційно-аналітичні матеріали щодо природоохоронної діяльності АТ «Укрзалізниця» за 2018–2022 рр. – 65 с.
10. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці «Електронний ресурс». – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/
11. Постанова КМУ «Порядок поводження з відходами, що утворились у зв'язку з пошкодженням (руйнуванням) будівель та споруд внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій або проведенням робіт з ліквідації їх наслідків та внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України» від 27.09.2022 р. № 1073. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1073-2022-%D0%BF#Text
12. Чеховська М. М. Організаційно-економічний механізм удосконалення природоохоронної діяльності на залізничному транспорті України [Текст]: дис. канд. екон. наук: 08.08.01 / Чеховська Марія Миколаївна. – К., 2003. – 201 с.

ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

УДК 574.08:681.78:629.52.7
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.19

ПАРАДИГМА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ГАЛУЗІЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Бондар О.І., Машков О.А., Присяжний В.І., Оводенко Т.С., Печений В.Л.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
mashkov_oleg_52@ukr.net

Розглянуто парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу до обробки інформації, що базується на розвиткові концепції «м'яких обчислень». Такий підхід передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі. Для створення технології обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень запропоновано інформаційну модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень. Парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень ґрунтується на розглянутих принципах, використання яких орієнтоване на нові покоління мультипроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в районі планової діяльності на засадах: відкритості та складності, конкуренції, формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, нелінійної самоорганізації. В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень слід зазначити, що отримані результати можуть використовуватися для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів з використанням аерокосмічних технологій отримання інформації щодо стану довкілля та техногенно небезпечних об'єктів. Окрім того, вони можуть стати основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом навколишнього природного середовища та об'єктів критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.
Ключові слова: екологічна безпека, екологічна система, екологічне прогнозування, навколишнє середовище, нейронна мережа, нечітка логіка, системі підтримки прийняття управлінських рішень, управлінські рішення, штучна інтелектуальна система.

The paradigm of information processing in the intelligent information system to support decision-making in the field of environmental safety. Bondar O., Mashkov O., Prysiazhniy V., Ovodenko T., Pechenyi V.

The paper proposes a paradigm of information processing in an intelligent information system to ensure environmental safety as one of the promising areas of management systems in the field of ecology and natural resources.

Increasing the reliability of the assessment and forecast of environmental situations in the environmental safety management system based on artificial intelligence systems is achieved using a new approach to information processing based on the development of the concept of "soft computing". This approach involves the use of theoretical principles that allow to rationally organize the computing technology of data processing, as well as to formalize the flow of information in a multiprocessor computing environment. To create an information processing technology in an intelligent decision support system, an information model of an integrated decision support environment is proposed. The paradigm of information processing in the intelligent decision-making support system is based on the considered principles, the use of which is oriented to new generations of multiprocessor computing environments, taking into account real data about the environmental situation in the area of planned activities: the principle of openness and complexity, the principle of competition, the principle of formalization of vague information in multiprocessor computing environment, the principle of complexity, the principle of non-linear self-organization. As part of the recommendations and prospects for the further development of intelligent support systems for making managerial environmental decisions, it should be noted that the obtained results can be used to ensure the environmental safety of the environment and natural resources using aerospace technologies for obtaining information about the state of the natural environment of man-made hazardous objects. In addition, they can be the basis for further scientific research on improving the quality of environmental management of the state of the environment and critical infrastructure objects with the help of artificial intelligence systems. *Key words:* environmental safety, ecological system, ecological forecasting, environment, neural network, fuzzy logic, management decision support system, management decisions, artificial intelligent system.

Постановка проблеми. Нині наша планета Земля живе в умовах клімату, що стрімко змінюється та провокує виникнення екстремальних погодних явищ, природних катаклізмів, які в найближчому майбутньому будуть тільки посилюватися та наростати, створюючи реальну загрозу для

існування цілих екосистем, біорізноманіття, людської цивілізації в цілому. Саме тому технології на основі штучного інтелекту, що зараз активно проникають у різноманітні сфери людського життя, можуть також допомогти людству підготуватися та адаптуватися до негативних кліматичних змін і погодних катаклізмів.

З використанням системного підходу екологічні рішення в системах штучного інтелекту розглядаються як системне поєднання інформаційних, організаційних та оперативних рішень, що стосуються окремих напрямків захисту довкілля та природних ресурсів. зокрема: оцінювання та прогнозування стану атмосферного повітря; оцінювання та прогнозування зміни клімату; оцінювання та прогнозування стану водних ресурсів; оцінювання та прогнозування стану біологічного та ландшафтного різноманіття, розвитку природно-заповідного фонду та формування національної екологічної мережі; оцінювання та прогнозування стану земельних ресурсів та ґрунтів; оцінювання та прогнозування стану надр; оцінювання та прогнозування стану поводження з відходами; оцінка стану об'єктів, що мають підвищену екологічну небезпеку; оцінювання та прогнозування стану промисловості та її впливу на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сільського господарства та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану енергетики та її впливу на довкілля; оцінювання та прогнозування стану транспорту та його вплив на довкілля; оцінювання та прогнозування стану сталого споживання та виробництва; розробка рекомендацій щодо здійснення державного управління у сфері охорони навколишнього природного середовища.

Для отримання нових знань з даних еколого-соціально-економічного моніторингу застосовуються методи інтелектуального аналізу просторових даних, які використовують сучасні геоінформаційні системи для регіонів України. Такий підхід дозволяє забезпечити здійснення кількісної оцінки рівня сталого розвитку, що є одним із пріоритетних завдань світової спільноти на XXI століття.

Керуючись завданням забезпечення екологічної безпеки довкілля та техногенне небезпечних об'єктів можна виділити мету інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень – зменшення негативного впливу об'єктів планової діяльності на природне середовище шляхом допомоги керівнику в процесі вибору для впровадження природоохоронного заходу, відповідних технологій захисту навколишнього середовища.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Реалізація вимог та директиви Угоди про асоціацію України з Європейським Союзом передбачають розробку та впровадження ефективної системи управління екологічною безпекою. Створення такої системи відповідає європейським та світовим підходам до екологічного управління, розширює можливості міжнародної співпраці України в галузі охорони навколишнього природного середовища. Така система управління екологічною безпекою сприятиме приведенню стану довкілля у відповідність до європейських і світових вимог. Застосування інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки як складовою системи екологічного управління, сприяє підвищенню екологічної безпеки та формування державної політики сталого розвитку, виконання міжнародних зобов'язань України у природоохоронній сфері. Тому потрібні наукові розробки сучасних технологій забезпечення екологічної безпеки та захисту навколишнього середовища при здійсненні екологічного управління з використання систем штучного інтелекту [1, 4, 5, 8, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема створення інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень в галузі екологічної безпеки розглядалася в працях багатьох авторів [2, 4–12].

Питання формування та впізнавання образів у системах штучного інтелекту розглянуті в працях [2, 7, 12]. Генетичні та еволюційні алгоритми, нечіткі багатокритеріальні інструменти прийняття рішень, розглянуто в роботах [8–12]. В працях [4, 5] дано обґрунтування побудови експертної системи підтримки прийняття рішень у інтелектуальній системі екологічного моніторингу, наведено результати екологічного прогнозування та управління екологічною безпекою планової діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень.

Проведений аналіз свідчить, що у теперішній час залишаються невирішеними питання наукового обґрунтування парадигми обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. Підвищення ефективності управління екологічною безпекою, як складової національної безпеки держави можливо здійснювати шляхом впровадження в систему управління екологічною безпекою сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій, застосування систем штучного інтелекту при здійсненні отримання, обробки, представлення візуалізації екологічної інформації. Запропонований підхід дозволяє визначити парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні інформаційних технологій обробки інформації в інтелектуальної системі підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки на основі застосування апарату штучних інтелектуальних мереж.

Об'єкт досліджень – проблеми створення штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки екосистем.

Предмет досліджень – технологія обробки інформації в інтелектуальної інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у галузі екологічної безпеки.

Методологія та методи дослідження. Для виконання досліджень використано методи дослідження операцій, обробки інформації, теорії управління організаційно-технічними системами, теорії розподілених систем, нечіткої логіки, штучних нейронних мереж.

Результати досліджень. Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі систем штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу до обробки інформації, що базується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Цей підхід передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі [6, 11].

Реалізація таких принципів дозволяє підвищити ефективність функціонування ІСППР за безперервної зміні динаміки об'єкта екологічного спостереження та зовнішнього середовища. Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення рішень здійснюється на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення системи екологічного управління: несуперечливість, стійкість та самоузгодженість.

Отже, ІСППР- це складний багатопроцесорний обчислювальний комплекс, який можна розглядати як динамічний інформаційний простір, що самоорганізовується, має спроможність уніфікованого уявлення даних та знань щодо динаміки складного об'єкта.

При формальному описі обчислювального простору в ІСППР розробляються методи формування альтернативних алгоритмів, за допомогою яких реалізуються принципи обробки інформації мультипроцесорної середовищі. При цьому використовуються різні підходи до вирішення задач динаміки – на основі методів класичної математики (стандартні алгоритми), нечітких та нейромережевих моделей [6, 8–12].

Зазначені методи утворюють безліч еквівалентних (функціонально близьких) алгоритмів. Підвищення ефективності алгоритмів з однаковим функціональним призначенням досягається шляхом їхньої адаптації до вихідних даних. Вибір кращої обчислювальної технології складає основі аналізу альтернатив.

Інформаційна модель знань в ІСППР.

Перехід від загальної формальної моделі знань до інформаційної моделі, покладеної в основу створення технології обробки інформації в ІСППР, можна розглядати на основі таких тверджень.

Твердження 1. Формалізація знань під час обробки інформації у складних динамічних середовищах, притаманних ІСППР при управлінні екологічною безпекою, складає основи предметної області, виділеної із загальної проблемної екологічної галузі.

Твердження 2. Структуризація знань в ІСППР здійснюється шляхом дослідження безлічі об'єктів (зовнішнє середовище, об'єкт екологічного управління, динаміка взаємодії) та виявлення структури причинно-наслідкових зв'язків між ними.

Твердження 3. Інформаційна модель знань реалізується на базі формалізованих моделей, що визначають виділені об'єкти та зв'язки між ними. Така модель дозволяє оцінювати відповідність динаміки поточної екологічної ситуації процесам, що є у реальній системі, за допомогою системи критеріїв.

Таким чином в ІСППР здійснюється обробку інформації в режимі реального часу в мультипроцесорному обчислювальному середовищі на основі інформаційної моделі (рис. 1).

Така модель синтезує процеси еволюції та самоорганізації в галузі екології та природних ресурсів. Модель структури процесів представляється у вигляді графа, у вершинах якого відображаються причинно-наслідкові зв'язки, що характеризують інтерпретацію поточних екологічних ситуацій на основі принципу конкуренції. Інформаційна модель сприймається як семантичне середовище з ієрархічно-мережевою структурою. Фізичний процес в інформаційній моделі є однією з характеристик ІСППР (об'єкт дослідження), а зміст (семантика) локалізується в окремому елементі.

Побудова та вивчення процесу моделювання в ІСППР здійснюється на основі «моделі моделей», що отримала назву репромоделі RM (від англ. Reproduce – відтворювати, породжувати). Репромодель – спрощений і наочний прототип створюваних в ІСППР моделей прийняття рішень. Така інтерпретація дозволяє ефективніше використання апріорної та оперативної інформації в системі S у процесі її функціонування.

Розглянемо особливості інформаційної моделі, поданої на рис. 1. Об'єктом інтелектуальної підтримки у складних ситуаціях є процес моделювання в системі «Оператор – ІСППР». Цей процес позначимо через S і представимо як результат послідовного переходу від об'єкта (системи S), що моделюється, спочатку до статичних моделей S(M), що використовуються в задачах аналізу і прогнозу при екологічному управлінні, а потім до динамічних моделей D(M), безпосередньо використовуваних при оперативному управлінні в рамках принципу конкуренції на базі методів класичної теорії управління, нечітких та нейромережевих алгоритмів.

Аналіз альтернатив та прийняття рішень здійснюються на основі критеріальної системи, що включає

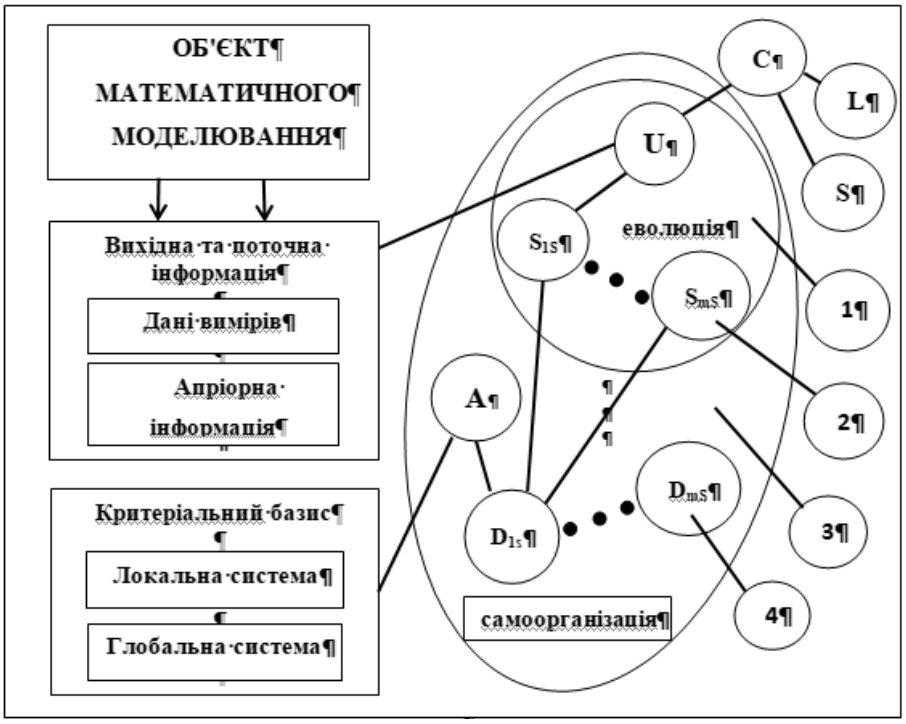


Рис. 1. Інформаційна модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень

Тут C – концептуальна модель; S – система (об'єкт) моделювання; S1(M),…,Sm(M) та D1(M),…,Dn(M) – статичні та динамічні моделі прогнозу та оперативного управління; U – керуюча компонента, що забезпечує перехід до статичних та динамічних моделей; L – мова моделювання, що характеризує типові математичні схеми та структури; A – алгоритм поведінки системи; K(N) і K(I) – критеріальні співвідношення, що визначають локальну та глобальну системи. Локальна система визначає вимоги, пов'язані з індивідуальними особливостями об'єкта спостереження (структура, функціональні властивості, можливість виникнення нештатних, аварійних екологічних ситуацій), а глобальна система включає вимоги національної та міжнародної систем, що регламентують екологічну безпеку району та об'єктів спостереження в умовах планової діяльності [1, 3–5].

національні K(N) та міжнародні K(I) вимоги до екологічної безпеки об'єкту спостереження. Перехід від моделі S(M) до моделі D(M) здійснюється через опис C (концептуальну модель системи), що фіксує відомості про модельований об'єкт спостереження, процес S у поняттях мови L у термінах типових математичних схем і структур, що використовуються в теорії та практиці предметної області. При виборі схеми імітаційного моделювання вводиться поняття середовища W, що дозволяє використовувати інформацію прикладного характеру J про цілі моделювання, закони функціонування системи, наявний математичний апарат для дослідження методів та алгоритмів екологічного управління.

Сфера статичних моделей прогнозу (еволюційне моделювання)представляє рух у просторі статичних моделей в процесі функціонування системи. Сфера динамічних моделей характеризує рух у просторі динамічних (активних) моделей, що дістала назву «моделювання із самоорганізацією». Компоненти моделі C базуються на евристичних уявленнях і можуть змінюватися в процесі накопичення інформації про динаміку взаємодії об'єкта спостереження із зовнішнім середовищем за різного рівня зовнішнього впливу в умовах планової діяльності.

Серед статичних моделей S1(M), …, Sm(M), інтегрованих у репромоделі, варто виділити ансамбль моделей, за допомогою яких здійснюється інтерпретація поточної ситуації.

Динамічні моделі D1(M), …,Dn(M) забезпечують прогноз та оперативне управління поведінкою системи у процесі її еволюції під впливом зовнішніх збурень.

Основну групу динамічних моделей утворюють модель функціоналу дії та модифіковані моделі Дуффінга та Матьє, а також системи диференціальних рівнянь, що описують поведінку динамічного об'єкта спостереження в екстремальних ситуаціях [2, 7, 10, 11].

Розробка та аналіз математичних описів і структур даних, пов'язаних з еволюційним моделюванням та самоорганізацією динамічних моделей, є одним з важливих напрямів при створенні алгоритмів та програмного забезпечення, що підвищують надійність прийняття рішень у різних умовах експлуатації.

Концептуальні основи створення динамічної бази знань, що забезпечує контроль режимів функціонування ІСППР під час взаємодії об'єкта спостереження із зовнішнім середовищем, базуються на фундаментальних принципах, що визначають архітектуру системи та рівні її управління.

Сформульована таким чином система може застосовуватися на етапі обґрунтування принципів побудови та функціонування обчислювального комплексу та програмного інструментального засобу моделювання й аналізу складних ситуацій, що підтримує його.

Використовувана інформаційна модель описує комп'ютерну інтерпретацію (побудова моделей для формальних систем) предметної області, що з формалізацією завдання контролю режиму функціонування ІСППР і моделювання нестандартних (нештатних і екстремальних) ситуацій, що виникають на практиці експлуатації.

Принципи організації системи функціонування ІСППР.

Підвищення ефективності функціонування, достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації у ІСППР, що використовують інтелектуальні технології, досягається з використанням принципів обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі [2, 7, 8–12].

Організація роботи ІСППР з метою підвищення ефективності функціонування, підвищення достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації у обчислювальних комплексах, які використовують інтелектуальні технології, досягається на основі парадигми обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі (рис. 2).

Розширення функціональних можливостей системи забезпечується з урахуванням принципів відкритості, складності та конкуренції у межах концепції м'яких обчислень. Нижче надається характеристика цих принципів, використання яких орієнтоване на нові покоління ІСППР з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в районі планової діяльності [4, 19].

Принцип відкритості та складності. Практичні застосування методів штучного інтелекту при оцінці поведінки об'єкту спостереження розвиваються у напрямі аналізу та моделювання складних систем і пов'язані з поняттям відкритих систем, що включають велику кількість різних елементів. Причому значну роль завдання інтерпретації динаміки взаємодії стали грати як самі елементи системи (зовнішнє обурення, динаміка об'єкта), а й взаємодії з-поміж них.

Аналіз відкритої системи дозволяє відзначити такі особливості:

1. Можливість аналізу елементів системи моделювання та візуалізації поведінки ДО у взаємозв'язку з навколишнім середовищем.

2. Більш глибоке та якісне розуміння особливостей самої системи підтримки прийняття рішень, причинно-наслідкових зв'язків між її елементами, що описують реальну динаміку взаємодії.

Можливість аналізу особливостей функціонування системи у нестаціонарному динамічному середовищі.

3. Вивчення історії змін системи взаємодії ДО, невідривно пов'язаної із зовнішнім середовищем та накопиченою інформацією в процесі проектування та проведення модельного та натурного експерименту.

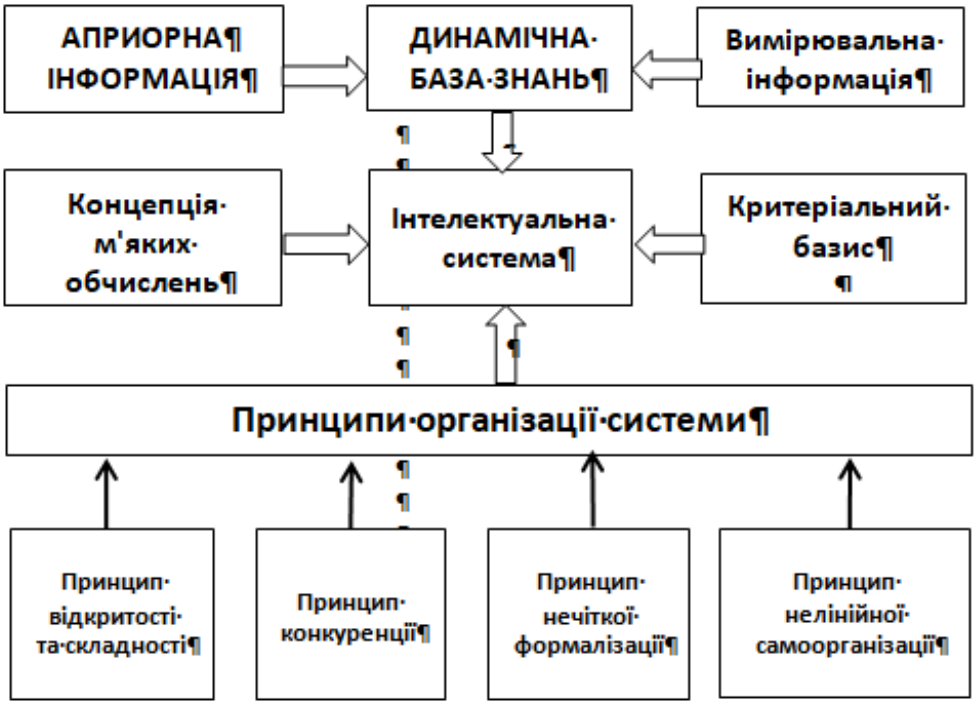


Рис. 2. Принципи організації системи підтримки прийняття рішень на основі технології інтелектуальних систем

Таким чином, відкритість ІСППР нового покоління представляє багаті можливості для її розуміння та використання при інтерпретації поведінки об'єкта спостереження. Однак моделювання таких систем в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації навіть за відсутності зовнішніх збурень є непростим завданням. В якості одного з напрямів вирішення таких задач, що важко формалізуються, можна використовувати еволюційне і когнітивне моделювання, для здійснення яких необхідно розробити строгу методологію у вигляді набору правил. При цьому практичний інтерес представляє моделювання еволюції потенційно складних об'єктів нової техніки, що мають водночас широку сферу застосування та алгоритмічну універсальність.

Концепція «м'яких обчислень». Теоретична база створення інтелектуальних систем нових поколінь формується на основі ефективного поєднання накопиченої системи знань з новими підходами та парадигмами ІІ. Серед них важлива роль належить методам та моделям, що забезпечують формалізацію та інтеграцію знань, механізм логічного висновку, пошук рішень та видачу практичних рекомендацій. Поряд із традиційними методами «інженерії знань» тут знаходить застосування концепція «м'яких обчислень» [8, 9] (рис. 3).

Ефективність взаємодії дослідника з ІСППР досягається за рахунок реалізації методів та засобів підвищення людино-комп'ютерної взаємодії при прийнятті рішень у складних, особливо у нестандартних (нештатних та екстремальних) ситуаціях – когнітивної парадигми, засобів мультимедіа та віртуальної реальності. Особливості застосування методів математичного моделювання в ІС нових поколінь полягають у тому, що в процесі побудови моделей динаміки об'єкта та зовнішнього середовища виникає помилка апроксимації, що наголошує на важливості використання надійної інформації при реалізації адаптивної компоненти динамічної бази знань у задачах удосконалення алгоритмічного та програмного забезпечення ІС, що здійснює інтелектуальну підтримку реалізації методів та моделей.

Принцип конкуренції. Підвищення достовірності оцінки та прогнозу досліджуваної ситуації досягається з використанням парадигми обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, що ґрунтується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Парадигма передбачає використання двох теоретичних принципів (рис. 4) що дозволяють забезпечити раціональну організацію обчислювальної технології обробки даних вимірювань у задачі аналізу та прогнозу розвитку екстремальної ситуації, а також формалізувати потік інформації при реалізації нечіткого логічного висновку в мультипроцесорному обчислювальному середовищі [10, 11].

Принцип конкуренції при виборі обчислювальної технології забезпечує порівняльний аналіз результатів оцінки ситуації з використанням традиційних алгоритмів та нейромережевих моделей.

Використовувані процедури паралельної обробки інформації під час реалізації цього принципу відбивають процес функціонування обчислювального

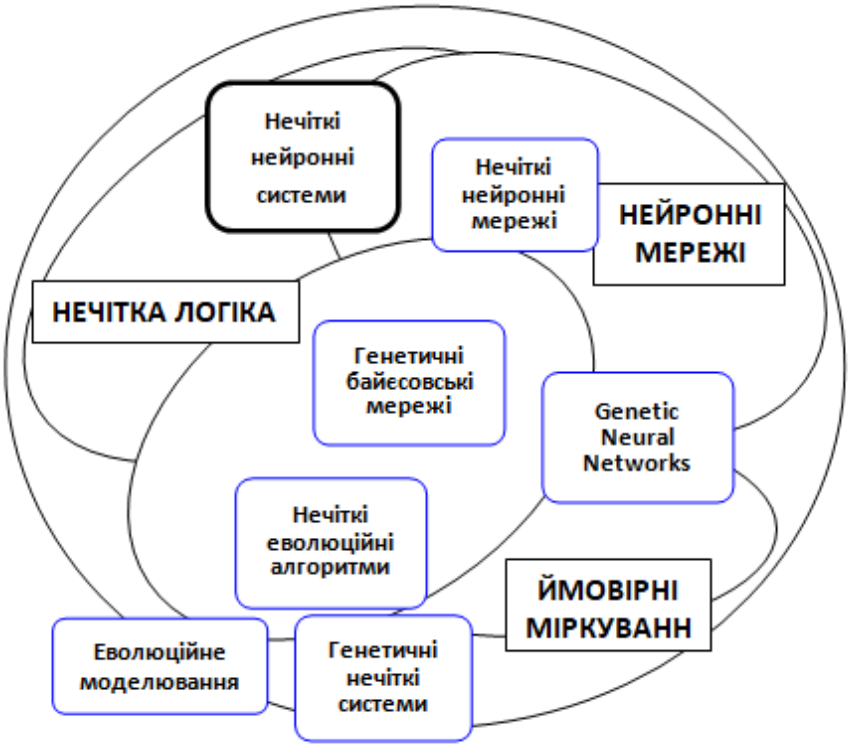


Рис. 3. Концепція «м'яких обчислень»

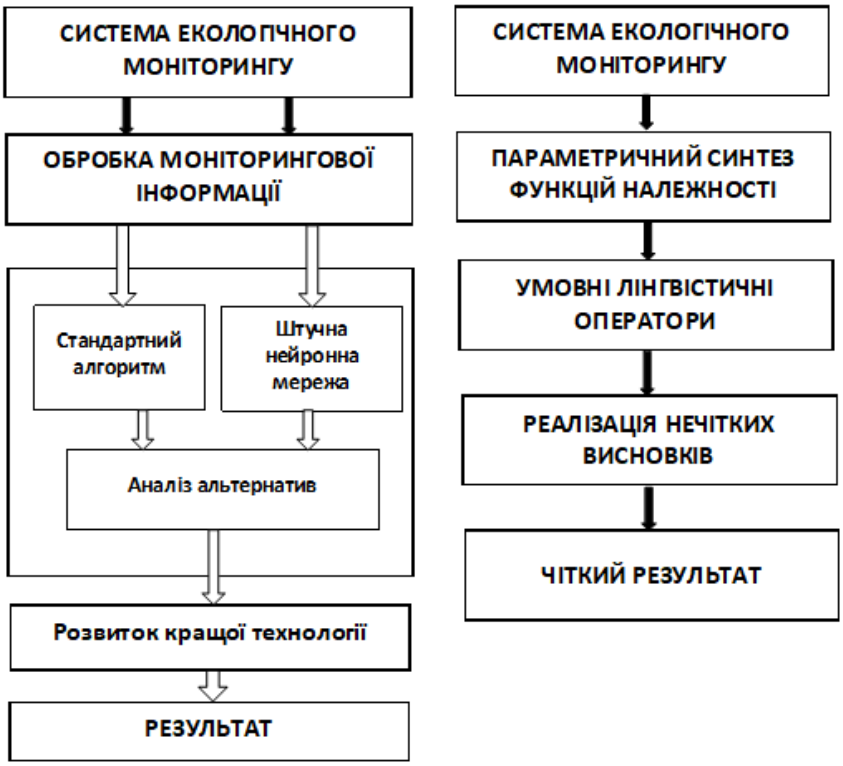


Рис. 4. Потік інформації при реалізації принципу конкуренції (А) та принципу формалізації нечіткої інформації (В)

комплексу ІС дослідницького проектування – від отримання інформації до процедури логічного висновку та вироблення практичних рекомендацій.

Принцип формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі дозволяє здійснювати паралельні ланцюжки нечіткого виведення в умовах динаміки об'єкта і зовнішнього середовища, що постійно змінюються. Використання цього принципу в ІС підтримки прийняття рішень дає такі переваги:

– відкриває перспективи програмної реалізації складних моделей подання та обробки нечіткої системи знань;

– забезпечує функціонування комплексу в режимі реального часу та скорочує витрати на розробку апаратного забезпечення механізму нечіткого виведення;

– усуває труднощі розв'язання завдань під час розпаралелювання обчислювального процесу з істотною нерегулярністю обчислень, характерною для завдань підтримки прийняття рішень, що реалізуються на базі інтегрованих комплексів.

При реалізації сформульованих вище принципів обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі необхідно керуватися такими твердженнями:

Твердження 1. Аналіз альтернатив та прийняття рішень у задачах контролю поведінки досліджуваного об'єкта спостереження у складних ситуаціях здійснюється з використанням критеріїв, що визначають пріоритетність рішення F(u)[0,1].

Твердження 2. Реалізація конкуруючих обчислювальних технологій при інтерпретації методів моделювання пов'язана з прийняттям рішення в умовах апріорної невизначеності. Нечітка критеріальна база вибору рішення визначається особливостями взаємодії об'єкта спостереження із зовнішнім середовищем у досліджуваній ситуації.

Твердження 3. Оцінка корисності рішення за наявності інформації «завдання – рішення – критерій» визначається шляхом формування нечіткої моделі знань та композиційного правила, які визначають відмінність отриманої якості рішення від бажаного з урахуванням системи переваг, що визначають пріоритетність рішення.

Реалізація тверджень 1-3 дає можливість підвищити ефективність прийнятих рішень при функціонуванні ІВ в умовах невизначеності та неповноти вихідної інформації, особливо при безперервній зміні динаміки об'єкта та зовнішнього середовища. Практична значущість обробки інформаційних потоків у реальному часі обумовлена прагненням підвищити швидкість машинних обчислень шляхом розпаралелювання алгоритмів та реалізації їх на високопродуктивних обчислювальних платформах [5].

Перевірка коректності алгоритмів ухвалення рішень здійснюється формальним шляхом на основі вимог до алгоритмічного забезпечення системи. Щодо паралельних алгоритмів логічного управління поняття коректності пов'язане зі специфічними

властивостями таких алгоритмів: несуперечливістю, стійкістю та самоузгодженістю [3, 4].

Принцип складності. Протиріччя між ускладненням розроблюваних моделей взаємодії судна із зовнішнім середовищем та необхідністю застосування традиційних математичних методів визначає одне з найважливіших завдань інтерпретації динамічних ситуацій – розробку методології математичного моделювання з урахуванням вимог не лише до адекватності, а й до складності самої моделі. Розв'язання даної задачі передбачає розробку методів та алгоритмів, що забезпечують в умовах неточності та невизначеності інформаційного забезпечення спрямований пошук оптимальних моделей.

Причому критеріальний простір передбачає як близькість виходу моделі прийнятому еталону, так і її складність, оскільки вона пов'язана з повнотою обліку в моделі наявних апріорних даних.

Принцип складності орієнтований задоволення все зростаючих потреб у методах синтезу рішень, а й математичного моделювання поведінки ДО, особливо у складному динамічному середовищі. На основі принципу складності створена загальна теорія складності систем [20], яка вимагає конкретизації її положень стосовно завдань моделювання поведінки ДО. Розширення спектра розв'язуваних завдань призводить до використання нових підходів та узагальнень, оскільки складність моделі є показником, що характеризує реалізацію обчислювальної технології, що забезпечує досягнення мети при заданому рівні якості моделювання, що характеризує ступінь (повноту) виконання моделлю основної мети моделювання та інтерпретації отриманих даних.

Складність одна із головних чинників, формують образ моделі взаємодії ДО із довкіллям. Принцип складності може бути використаний і при моделюванні поведінки об'єкта спостереження за даними моніторингових досліджень у термінах «вхід-вихід» та у категоріях простору станів, а також за різними видами інформаційного та алгоритмічного забезпечення. Застосування принципу складності за умов невизначеності і неповноти вихідної інформації вимагає визначення шуканої моделі разом із оцінкою її складності: «реалізація моделі – складність моделі» як єдиного цілого. Такий підхід відповідає концепції Л. Заде [12] про перехід до обліку при математичному моделюванні нечітких факторів у рамках теорії нечітких множин.

Принцип нелінійної самоорганізації. Функціонування системи підтримки прийняття рішень пов'язане з контролем ситуації та прогнозуванням її розвитку в умовах безперервної зміни динаміки об'єкта та зовнішнього середовища. Забезпечення контролю складає основі адаптивних алгоритмів, здатних змінювати свою структуру при зміні поведінки об'єкту спостереження. При синтезі таких алгоритмів використовують різні підходи – детерміністський, стохастичний та підхід на основі принципів самоорганізації. Перші два підходи припускають наявність вихідних даних повного інформаційного базису, тобто. всіх визначальних параметрів та факторів, які необхідно враховувати при аналізі ситуації.

Принцип нелінійної самоорганізації потребує мінімального обсягу апріорної інформації. Методологічною основою цього принципу є припущення про те, що вся інформація про структуру та поведінку динамічної системи міститься в даних вимірів та критеріальних співвідношеннях, що визначають вибір структури моделі.

Для прогнозування екологічного стану в районі планової діяльності в умовах безперервної зміни довкілля необхідно сформулювати математичну модель, що містить всю необхідну інформацію про параметри та зміну стану об'єкта протягом заданого інтервалу часу. Саме тому принцип нелінійної самоорганізації найбільш ефективний у завданнях контролю та прогнозування екстремальних екологічних ситуацій, пов'язаних із раптовими (стрибкоподібними) змінами у поведінці об'єкта. З даних прогнозу ІСППР виробляє практичні рекомендації в такий спосіб, щоб уникнути цієї небезпеки. Реалізація принципу нелінійної самоорганізації розробки бази знань ІСППР вимагає великого обсягу обчислювальних операцій, що з попередньої оцінкою динаміки об'єкта з урахуванням математичного моделювання екстремальних ситуацій з наступним формулюванням відповідних критеріальних оцінок.

Перевірка коректності алгоритмів управління та ухвалення рішень здійснюється формальним шляхом на основі загальних вимог до алгоритмічного забезпечення системи. Щодо паралельних алгоритмів логічного управління поняття коректності пов'язане зі специфічними властивостями таких алгоритмів: несуперечливістю, стійкістю та самоузгодженістю [9–11].

Таким чином, системи підтримки прийняття рішень як інструментарій багатокритеріального аналізу альтернатив та оптимізації вимагають створення загальносистемних принципів та підходів. При створенні систем слід керуватися наступними базовими інваріантними по відношенню до предметної галузі технологіями і концепціями: парадигма обробки інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі; принципи відкритості, нелінійної самоорганізації, концепції конкуренції та м'яких обчислень.

Висновки. У праці запропоновано парадигму обробки інформації в інтелектуальній інформаційній системі для забезпечення екологічної безпеки як один із перспективних напрямків систем управління в галузі екології та природних ресурсів.

Підвищення достовірності оцінки та прогнозу екологічних ситуацій в системі управління екологічною безпекою на основі систем штучного інтелекту досягається з використанням нового підходу

до обробки інформації, що базується на розвитку концепції «м'яких обчислень». Він передбачає використання теоретичних принципів, що дозволяють раціонально організувати обчислювальну технологію обробки даних, а також формалізувати потік інформації у мультипроцесорному обчислювальному середовищі.

Для створення технології обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень запропоновано інформаційну модель інтегрованого середовища підтримки прийняття рішень.

Парадигма обробки інформації в інтелектуальній системі підтримки прийняття рішень ґрунтується на розглянутих принципах, використання яких орієнтоване на нові покоління мультипроцесорних обчислювальних середовищ з урахуванням реальних даних про екологічну ситуацію в межах планової діяльності: принцип відкритості та складності, принцип конкуренції, принцип формалізації нечіткої інформації в мультипроцесорному обчислювальному середовищі, принцип складності, принцип нелінійної самоорганізації.

В рамках рекомендацій та перспектив подальшої розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських екологічних рішень слід зазначити, що отримані результати можуть бути використані для забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища та природних ресурсів з використанням аерокосмічних технологій отримання інформації про стан навколишнього природного середовища техногенне небезпечних об'єктів. Крім того, вони можуть бути основою для подальших наукових досліджень щодо підвищення якості екологічного управління станом довкілля та об'єктів критичної інфраструктури за допомогою систем штучного інтелекту.

Література

1. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С. Системний підхід щодо створення системи підтримки екологічних рішень для забезпечення екологічної безпеки держави / Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020. -№ 3(30), 2020, с. 30-38.
2. Васильєв В.І., Шевченко О.І. Штучний інтелект: Формування та впізнання образів. -Донецьк: Дон. ДНДІ, 2000, 360 с.
3. Іващенко Т.Г. Стратегічна екологічна оцінка документів державного планування: Монографія / Під загальною науковою редакцією д.б.н. Г. Г. Шматкова / Т. Г. Іващенко. К.: Основа. 2021. – 60с.
4. Машков О.А., Абідов С.Т., Іващенко Т.Г., Оводенко Т.С., Печений В.Л. Особливості екологічного прогнозування за допомогою штучних інтелектуальних систем підтримки прийняття управлінських рішень/ Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, -Випуск 1(46), 2023,№ 5(44), с. 168-174.
5. Машков О.А., Іващенко Т.Г. Проблеми управління екологічною безпекою планованої діяльності за допомогою систем підтримки прийняття управлінських інформаційних екологічних рішень / Науковий часопис Академії національної безпеки, № 3-4 (27-28) 2020, с. 7-34.
6. Офіційний сайт організації-розробника FuzzyGLIPS Електронний ресурс. Режим доступу: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/iit/fuzzy-reasoning.html. – Загл. с экрана.
7. Шевченко О.І. Актуальні проблеми теорії штучного інтелекту. Київ, ІПШІ, Наука і освіта, 2003, 228 с.
8. Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management // ELSEVIER. 2015. № 65 – С 278-284.
9. Gottinger. H. W., Weinmann. P. Intelligent decision support systems //Decision Support Systems. 1992. – Vol. 8, No.4. – P. 317-332.
10. Khodashahri N.G, Sarabi M.H. Decision support system (DSS) // Singaporean jou rnal of business economics and management studies. 2013. № 6 – С 94-102.
11. Tripathi K.P. Decision support system is a tool for making better decisions in the organization // Indian Journal of Computer Science and Engineering. 2017. № 21– С 112-117.
12. Zadeh L. Fuzzy logic, neural networks and soft computing // Commutation on the ASM-1994. Vol.37. № 3, pp.77 – 8

УДК 502.33(477.42)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.20

ФІНАНСОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СФЕРИ ОХОРОНИ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В ЖИТОМИРСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Герасимчук Л.О.[1], **Валерко Р.А.**[2], **Члек О.М.**[1], **Миколайчук О.В.**[1], **Муляр А.П.**[1]
[1]Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
[2]Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
gerasim4uk@ukr.net

Здійснені аналіз та оцінка сучасного стану забезпечення природоохоронної сфери в Житомирській області за період 2010–2020 рр. Інформаційною базою досліджень стали офіційні матеріали Державної служби статистики України, а також Головного управління статистики у Житомирській області. Особливості фінансування природоохоронної сфери в Житомирській області оцінювали за обсягами капітальних інвестицій. На охорону довкілля в Житомирській області у 2020 р. було виділено 11871 тис. грн. капітальних інвестицій. Виокремлено 2 періоди їх стрімкого зменшення: у 16 разів з 2010 р. по 2013 р. та у 3,7 разів з 2014 р. по 2019 р. Збільшення обсягів капітальних інвестицій відносно попереднього року мало місце за 11-річний період лише двічі – у 2014 р. у 35,8 разів та у 2020 р. – у 1,7 рази. Не зважаючи на щорічне знецінення гривні, обсяг капітальних інвестицій у 2010 р. і 2020 р. був практично однаковим (103,2% до рівня 2010 р.). За досліджуваний період частка витрат на охорону довкілля, виділених за рахунок коштів держбюджету, не перевищувала 12,6 % (максимальне значення, 2015 р). Не виділялися з держбюджету кошти у 2012 р. У 2020 р. за рахунок державного та місцевих бюджетів було виділено 9,9%, з них у капітальних інвестиціях – 57,3%. У капітальних інвестиціях за рахунок коштів держбюджету за період 2010–2020 рр. залучено від 5,6% у 2014 р. до 77,7% у 2018 р. всіх витрат на охорону довкілля. Розподіл капітальних інвестицій на охорону довкілля за видами природоохоронної, економічної діяльностей та за адміністративно-територіальними утвореннями області характеризувався значною нерівномірністю з переважанням виділених інвестицій на сфери очищення зворотних вод (36,4% залучених інвестицій), поводження з відходами (26,5%) та охорону атмосферного повітря (24,1%). За 11 років найбільший обсяг інвестицій був залучений у 2014 р. – 25256,7 тис. грн (що склало практично п'яту частину коштів за досліджуваний період), найменший – у 2013 р. – 705 тис. грн. Найбільше капітальних інвестицій у 2010, 2011, 2013 та 2018 рр. було направлено на сферу захисту та реабілітацію ґрунту, у 2012, 2015 та 2017 рр. – на сферу поводження з відходами, у 2014 р. – на охорону атмосферного повітря, у 2016, 2019 та 2020 рр. – на очищення зворотних вод. Лідерами за виділеннями інвестицій на охорону довкілля впродовж 11-річного періоду виявилися м. Житомир (63,4% інвестицій області) та м. Коростень (12,4%). Для збільшення інвестицій у сферу охорони довкілля необхідно залучити економічні та фінансові механізми. *Ключові слова:* капітальні інвестиції, види природоохоронної діяльності, види економічної діяльності, сфера очищення зворотних вод та поводження з відходами, адміністративно-територіальні одиниці Житомирської області.

Financial security of the sphere of environmental protection in the Zhytomyr region. Herasymchuk L., Valerko R., Chlek O., Mykolaichuk O., Muliar A.

An analysis and assessment of the current state of environmental protection in the Zhytomyr region for the period 2010–2020 was carried out. The information base of the research was the official materials of the State Statistics Service of Ukraine, as well as the Main Department of Statistics in the Zhytomyr region. The peculiarities of environmental protection financing in the Zhytomyr region were evaluated by the volume of capital investments. In 2020, UAH 11,871,000 was allocated for environmental protection in the Zhytomyr region. capital investments. 2 periods of their rapid decrease are singled out: 16 times from 2010 to 2013 and 3.7 times from 2014 to 2019. An increase in the volume of capital investments compared to the previous year took place only twice in the 11-year period – in 35.8 times in 2014 and 1.7 times in 2020. Despite the annual devaluation of the hryvnia, the volume of capital investments in 2010 and 2020 was practically the same (103.2% to the level of 2010). During the studied period, the share of environmental protection costs allocated from the state budget did not exceed 12.6% (maximum value, 2015). No funds were allocated from the state budget in 2012. In 2020, 9.9% was allocated from the state and local budgets, of which 57.3% went to capital investments. From 5.6% in 2014 to 77.7% in 2018 of all costs for environmental protection were involved in capital investments at the expense of state budget funds for the period 2010–2020. The distribution of capital investments for environmental protection by types of nature protection, economic activities and by administrative-territorial formations of the region was characterized by significant unevenness with the predominance of allocated investments in the areas of wastewater treatment (36.4% of the investments involved), waste management (26.5%) and atmospheric air protection (24.1%). For 11 years, the largest amount of investments was attracted in 2014 – 25,256.7 thousand UAH (which was almost a fifth of the funds for the period under review), the smallest – in 2013 – 705 thousand UAH. Most capital investments in 2010, 2011, 2013 and 2018 were directed to the field of soil protection and rehabilitation, in 2012, 2015 and 2017 – to the field of waste management, in 2014 – to air protection, in 2016, 2019 and 2020 – for the treatment of return water. Zhytomyr (63.4% of the region's investments) and Korosten (12.4%) were the leaders in the allocation of investments for environmental protection over the 11-year period. To increase investments in the field of environmental protection, it is necessary to attract economic and financial mechanisms. *Key words:* capital investments, types of environmental protection activities, types of economic activities, the field of wastewater treatment and waste management, administrative and territorial units of the Zhytomyr region.

Постановка проблеми. Витрати на охорону довкілля направлені на запобігання, зменшення, усунення наслідків забруднення в результаті певної виробничої діяльності. Інвестиційне забезпечення охорони довкілля в нашій державі знаходиться на низькому рівні. Обсяг капітальних інвестицій на охорону навколишнього середовища станом на 2020 р. становив 13,2 млрд. грн, що нижче навіть рівня 2016 р. (13,4 млрд. грн), а їх частка скоротилася майже в половину у порівнянні з 2016 р. (з 1,6% до 0,83%). До того ж обсяги поточних витрат значно переважають обсяги капітальних інвестицій [4].

Важливим показником є співвідношення капітальних інвестицій з ВВП, яке як в країнах ЄС складає 3–7% [5], у нас же наразі становить 0,32% (2020 р.) (для порівняння у 2016 р. – 0,56%), а в контексті сталого розвитку граничною межею є 10% від ВВП. Зазначене вказує на той факт, що сфері охорони довкілля приділено недостатньо уваги.

Актуальність дослідження. Стратегія Державної екологічної політики України на період до 2030 року виокремлює недостатнє фінансування природоохоронних заходів або ж їх фінансування за залишковим принципом як одну з причин екологічних проблем, що свідчить про необхідність трансформації даної сфери. Відповідно оприлюдненим даним на сайті Державної служби статистики України обсяги поточних витрат значно переважають обсяги капітальних інвестицій [4], що, в свою чергу, не сприяє модернізації чи переоснащенню природоохоронних об'єктів, і, як наслідок, може призвести до незворотних негативних змін у стані довкілля.

Охорона довкілля та забезпечення екологічної безпеки – невід'ємні умови розвитку нашої держави, а інвестиції на дану сферу та впровадження природоохоронних заходів сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля (з 1994 р. в Державному бюджеті виокремлено розділ «Охорона навколишнього природного середовища та ядерна безпека»). Тому вирішення чи мінімізація існуючих екологічних проблем залежить від ефективності фінансування сфери охорони довкілля та напрямків їхнього використання.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалось в рамках науково-дослідної роботи «Еколого-соціальна оцінка стану сільських селітебних територій у контексті сталого розвитку» (державний реєстраційний №: 0120U104233) та може бути використана органами влади при вирішенні наявних проблем у механізмі фінансування природоохоронної сфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню дослідження витрат на охорону довкілля присвячено багато наукових праць як українських, так і закордонних вчених. Вивченням екологічних витрат, дослідженням їх сучасного стану займалися Ковшун Н.Е. та П'ятка Н.С. (2019), Макарчук О. та Гайдученко Т. (2019), Ремига Ю. та Тонюк М. (2022), оцінкою їхньої ефективності – Черенкевич О.С. (2020), Ковшун Н.Е. та ін. (2021), взаємозв'язком між інвестиціями та ринковою вартістю – Vasylchuk I. та ін. (2021), He Y. та ін. (2022), аналізувалися й витрати на окремі складові довкілля, як от атмосферне повітря та водні ресурси – Корепанов О.С. та Богомаз О.О. (2020), атмосферне повітря та відходи – Yavorska N. (2020), Бабець І.Г. та Руда О.І. (2020), а також в окремих секторах економіки – Сьомченко В.В. та Романова А.С. (2019), транскордонних територіях (Волинська область та Люблінське воєводство Республіки Польща) – Скороход І. та ін. (2022), вивчався і їхній зв'язок зі станом довкілля шляхом моделювання – Yavorska N. (2020).

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень. Наявні дослідження недостатньо висвітлюють питання фінансового забезпечення природоохоронної сфери на рівні окремих регіонів України, в тому числі і в Житомирській області, що й обумовило мету наших досліджень.

Методологічне значення. Інформаційною базою досліджень стали офіційні матеріали Державної служби статистики України, а також Головного управління статистики у Житомирській області [3, 4, 13]. Особливості фінансування природоохоронної сфери в Житомирській області оцінювали за обсягами капітальних інвестицій.

Виклад основного матеріалу. На охорону довкілля в Житомирській області у 2020 р. було виділено 11871 тис. грн. капітальних інвестицій. Збільшення обсягів інвестицій відносно попереднього року мало місце за 11-річний період лише двічі – у 2014 р. та у 2020 р. Не зважаючи на щорічне знецінення гривні, обсяг капітальних інвестицій у 2010 р. і 2020 р. був практично однаковим (рис. 1).

Частка витрат на охорону довкілля, виділених за рахунок коштів держбюджету, не перевищувала 12,6 %. У 2020 р. за рахунок державного та місцевих бюджетів було виділено 9,9% (рис. 2), з них у капітальних інвестиціях – 57,3% (рис. 3).

Зазначимо, що у капітальних інвестиціях за рахунок коштів держбюджету за аналізований період було залучено від 5,6% у 2014 р. до 77,7% у 2018 р. всіх витрат на охорону довкілля (рис. 3).

Розподіл капітальних інвестицій на охорону навколишнього природного середовища за видами природоохоронної діяльності характеризувався значною нерівномірністю з переважанням виділених інвестицій на сфери очищення зворотних вод та поводження з відходами (рис. 4). За досліджуваний період на очищення зворотних вод було виділено 43210,2 тис. грн, що становило 36,4% всіх залучених інвестицій, на сферу поводження з відходами – 31410,6 тис. грн (або 26,5%), на охорону атмосферного повітря – 28622,5 ти. грн (або 24,1%), на захист і реабілітацію ґрунту, підземних і поверхневих

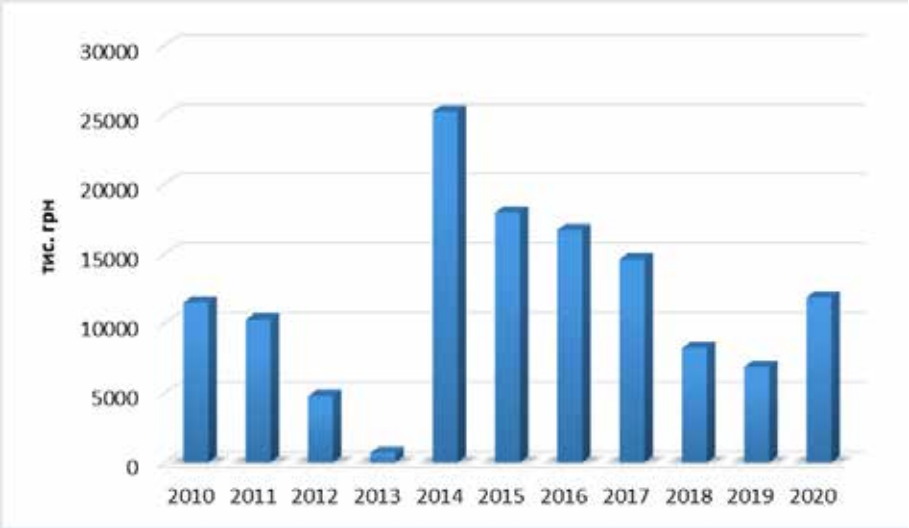


Рис. 1. Динаміка інвестицій на охорону навколишнього природного середовища у Житомирській області за період 2010–2020 рр.

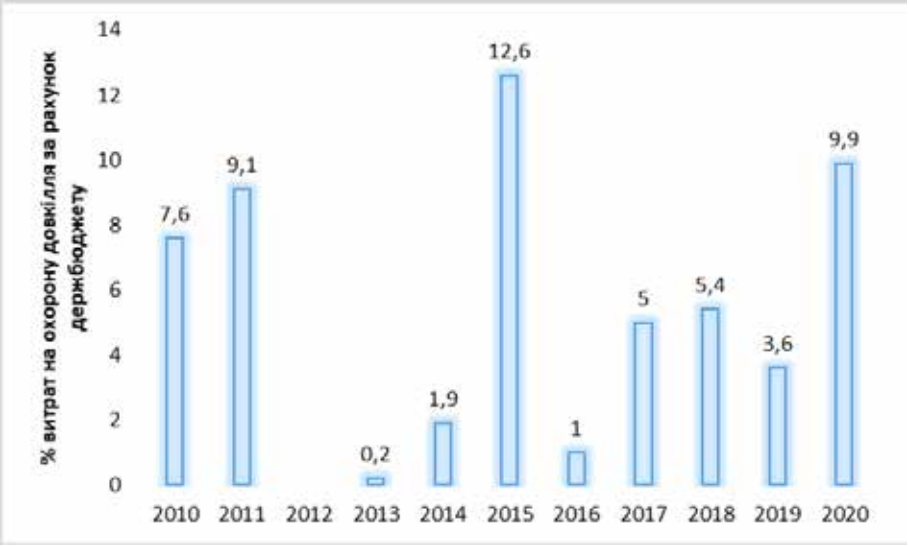


Рис. 2. Частка витрат на охорону довкілля за рахунок коштів держбюджету за період 2010–2020 р.

вод – 14848,6 тис. грн (або 12,5%), на збереження біорізноманіття – 442 тис. грн (або 0,37%), на інші напрями – 122,7 тис. грн (або 0,1%).

Зазначимо, що кожного року виділялися кошти на такі сфери, як очищення зворотних вод та поводження з відходами, в той час як на сферу збереження біорізноманіття – лише впродовж чотирьох років – з 2012 по 2015 рр. На сферу охорони повітряного басейну за досліджуваний період не були залучені інвестиції у 2018–2019 рр., на захист і реабілітацію ґрунту – у період 2014–2015 рр. та 2019–2020 рр. Крім зазначених, на інші напрями природоохоронної діяльності виділялися кошти лише у 2015, 2017 та 2019 роках. За 11 років найбільший обсяг інвестицій був залучений у 2014 р. – 25256,7 тис. грн (що склало практично п'яту частину – 19,6% – коштів за досліджуваний період), найменший – у 2013 р. – 705 тис. грн. Аналізуючи граничні значення капітальних інвестицій за різними видами природоохоронної діяльності за 2010–2020 рр., максимальні їх суми на сферу охорони повітряного басейну були виділені у 2014 р. – 20872,5 тис. грн, на очищення зворотних вод – у 2016 р. – 14812,6 тис. грн, на поводження з відходами – у 2015 р. – 12516,7 тис. грн, на захист і реабілітацію ґрунту – у 2011 р. – 7086,71 тис. грн, на збереження біорізноманіття – у 2012 р. – 291,7 тис. грн, на інші напрями – у 2017 р. – 116,4 тис. грн (рис. 4).

За видами економічної діяльності лідером за період 2016–2017 та 2019–2020 рр. була сфера водопостачання та поводження з відходами – від 46,8 до 84,3%, у 2018 р. – сфера державного управління та оборони – 78,4% (рис. 5).

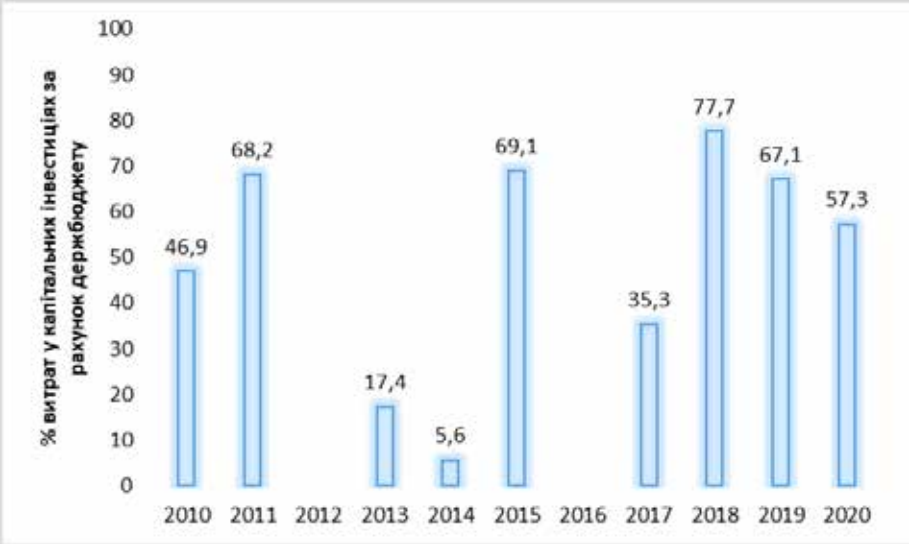


Рис. 3. Частка витрат у капітальних інвестиціях на охорону довкілля за рахунок коштів держбюджету за період 2010–2020 р.

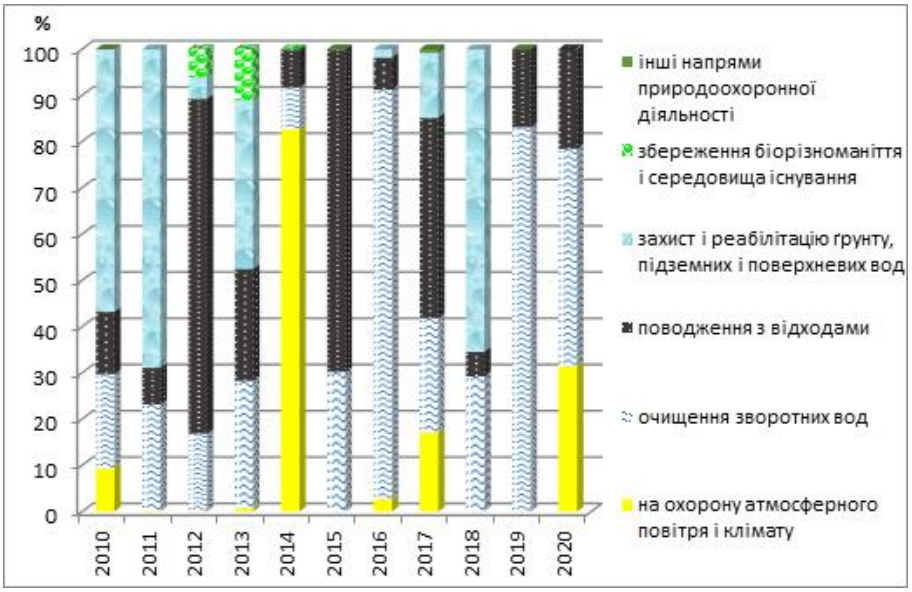


Рис. 4. Розподіл капітальних інвестицій на охорону довкілля у Житомирській області за напрямами

У сфері водопостачання, каналізації та поводження з відходами впродовж 2016–2020 рр. витрачалося від 25,3 до 100% капітальних інвестицій, у сфері операцій з нерухомим майном у 2020 р. – 100%, у сфері управління – 100% у 2016 р. та 71,5% у 2018 р.

В розрізі адміністративно-територіальних одиниць області найбільше інвестицій було виділено у м. Житомир у 2014 р. – 22893,3 тис. грн, що склало 90,6% інвестицій, які були залучені у цьому році. Мінімальні інвестиції були виділені у Житомирському районі у 2015 р. – 1,1 тис. грн (0,01% інвестицій, залучених у році) (рис. 6).

Як бачимо з рис. 6, виділення капітальних інвестицій було нерівномірним впродовж досліджуваного періоду: у 2010 р. з 28 територіальних одиниць області інвестиції були лише у 7 (25%), у 2011–2013 рр. та 2019 р. – у 5 (17,8%), у 2014–2015 рр. – у 8 (28,6%), у 2016 р. – у 5 (17,8%), у 2017 р. – у 6 (21,4%), у 2018 р. – у 3 (10,7%), у 2020 р. – у 10 (35,7%). Лідерами за виділеннями коштів на охорону довкілля впродовж 11-річного періоду вивилися м. Житомир – виділялося в середньому 63,4% інвестицій області та м. Коростень – 12,4%. В межах 4% всіх інвестицій по області було виділено в Черняхівського районі, в межах 3% – в Новоград-Волинському, Овруцькому, Попільнянському та Романівському районах, в межах 2% – м. Малин, Баранівський та Хорошівський райони, в межах 1% – м. Бердичів, Житомирський Ружинський район. В таких районах

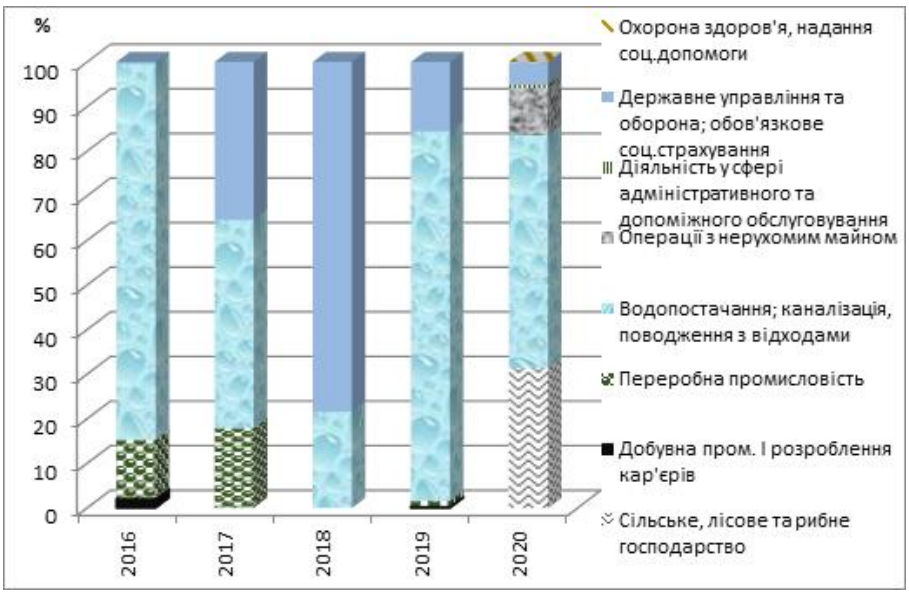


Рис. 5. Питома вага капітальних інвестицій на охорону довкілля у Житомирській області за видами економічної діяльності

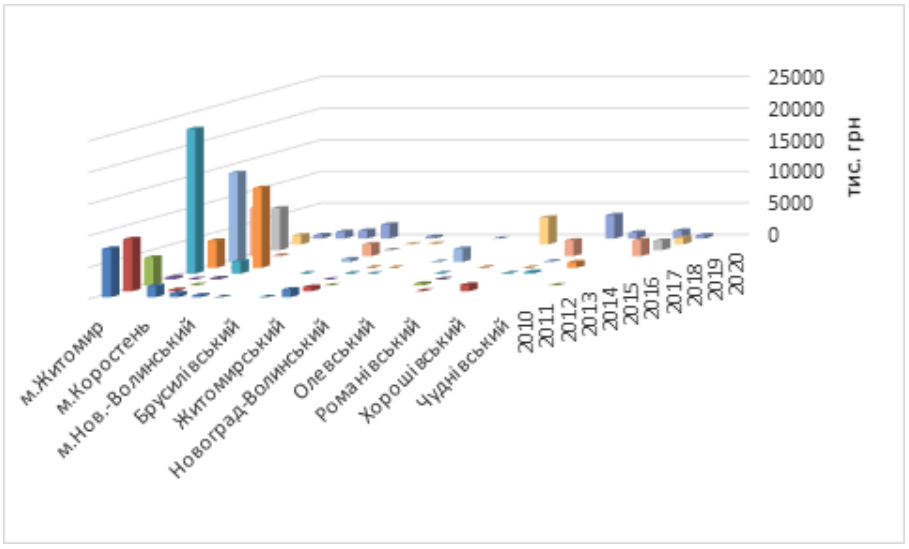


Рис. 6. Динаміка інвестицій на охорону навколишнього природного середовища в розрізі адміністративно-територіальних одиниць Житомирської області

як Брусилівський, Ємільчинський, Коростишівський, Олевський, Чуднівський та м. Новоград-Волинський виділені кошти становили від 0,01 до 0,3% інвестицій по області. Саме в цих районах (за виключенням Ємільчинського) інвестиції були виділені лише раз за період 2010–2020 рр.

Враховуючи викладене, необхідно залучити економічні та фінансові механізми для збільшення інвестицій у сферу охорони довкілля. Близько 3000 суб'єктів господарювання в області є платниками екологічного податку, які, наприклад, у 2021 р. сплатили 15,2 млн грн, що перевищило обсяги капітальних інвестицій у 1,2 рази (хоча є й інші екологічні платежі), тому постає питання щодо використання таких коштів та їх спрямування виключно на природоохоронну сферу. Сподівання на інвестиції за кошти бюджету є неперспективним, адже левова частка такого фінансування – це поточні витрати підприємств. Тому, на мою думку, важливим є застосування економічного стимулювання суб'єктів господарювання (наприклад, податкові пільги, відшкодування частини сплаченого екологічного податку), нових інструментів екополітики (наприклад, страхування екологічних ризиків, екологічний лізинг, боргова конверсія), а також запровадження практики оцінки ефективності природоохоронних заходів шляхом порівняння витрат та кінцевого результату (наприклад, кількісного та якісного

складу обсягів викидів забруднюючих речовин) із забезпеченням доступності до такої інформації для диверсифікації фінансування.

Головні висновки. На охорону довкілля в Житомирській області у 2020 р. було виділено 11871 тис. грн. капітальних інвестицій. Не зважаючи на щорічне знецінення гривні, обсяг капітальних інвестицій у 2010 р. і 2020 р. був практично однаковим (103,2% до рівня 2010 р.). Розподіл капітальних інвестицій на охорону довкілля за видами природоохоронної, економічної діяльностей та за адміністративно-територіальними утвореннями області характеризувався значною нерівномірністю з переважанням виділених інвестицій на сфери очищення зворотних вод та поводження з відходами. Лідерами за виділеннями інвестицій на охорону довкілля впродовж 11-річного періоду виявилися м. Житомир (63,4% інвестицій області) та м. Коростень (12,4%). Для збільшення інвестицій у сферу охорони довкілля необхідно залучити економічні та фінансові механізми.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у проведенні оцінки залежності зміни стану довкілля (атмосферного повітря, водних ресурсів та поводження з відходами) від фінансування сфери охорони навколишнього природного середовища з побудовою відповідних моделей та здійсненні кореляційно-регресійного аналізу.

Література

1. Бабець І.Г., Руда О.І. Вплив структури інвестицій на якість життя населення міст обласного значення Західного регіону України. *Проблеми економіки*. 2020. № 2(44). С. 182–189.
2. Герасимчук Л.О. Економічний механізм забезпечення охорони навколишнього природного середовища в Житомирській області. Вісник ЖНАЕУ. 2017. № 2 (61). Т.1. С. 116–122.
3. Головне управління статистики у Житомирській області: офіційний веб-сайт. URL: http://www.zt.ukrstat.gov.ua.
4. Державна служба статистики України: офіційний веб-сайт. URL: https://www.ukrstat.gov.ua.
5. Єльнікова Ю.В. Оцінювання інвестиційного розриву у фінансуванні цілей сталого розвитку. *Економічний простір*. 2020. № 156. С. 77–81. DOI: 10.32782/2224-6282/156-13.
6. Забродська Г.Л., Валерко Р.А. Фінансування охорони навколишнього природного середовища у Житомирській області. *Science, society, education: topical issues and development prospects* : мат-ли VIII-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 5-7 липня 2020 р., Харків. С. 281–288.
7. Ковшун Н.Е., П'ятка Н.С. Сучасний стан фінансування природоохоронних заходів в Україні. *Український журнал прикладної економіки.* 2019. № 4, т. 4. С. 242–249. DOI: 10.36887/2415-8453-2019-4-28.
8. Ковшун Н.Е., П'ятка Н.С., Жидик І.А. Ефективність екологічного інвестування в Україні. *Вісник НУВГП*. 2021. № 3(95). С. 30–42. DOI: 10.31713/ve320214.
9. Корепанов О.С., Богомаз О.О. Статистичний аналіз витрат на охорону природних ресурсів в Україні. *Ефективна економіка*. 2020. № 11. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.11.18.
10. Макарчук О., Гайдученко Т. Екологічна ситуація в Україні: позитивні та негативні аспекти. *Молодий вчений*. 2019. № 5(69). С. 551–555. DOI: 10.32839/2304-5809/2019-5-69-120.
11. Ремига Ю., Тонюк М. Формування фіскального простору для управління екологізацією України. *Traektoriâ Nauki = Path of Science*. 2022. № 8(1). С. 3025–3034. DOI: 10.22178/pos.78-4.
12. Скороход І., Кухарик В., Бояр А., Кицюк І., Горбач Л. Управління в сфері фінансового забезпечення охорони навколишнього середовища транскордонного регіону. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice.* 2022. № 3(44). С. 251–260. DOI: 10.55643/fcaptp.3.44.2022.3748.
13. Статистичний щорічник Житомирської області 2021 / За ред. Г. Пашинської. Житомир: Головне управління статистики у Житомирській області, 2022. 433 с.
14. Сьомченко В.В., Романова А.С. Аналіз та облік витрат на природоохоронну діяльність в агропромисловому секторі. *Бухгалтерський облік, аналіз та аудит.* 2019. № 37. С. 783–788. DOI: 10.32843/infrastruct37-113.
15. Черенкевич О.С. Статистична оцінка ефективності фінансування природоохоронних заходів в Україні. *Ефективна економіка*. 2020. № 11. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.11.200.
16. He Y., Yang S., Ahmad F., Ozturk I., Draz M.U., Chandio A.A. Investments in environmental preservation: is the government crowding in green enterprises? Evidence from a-listed companies in China. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2022. DOI: 10.1080/1331677X.2022.2106504.
17. Vasylchuk I., Suprun A., Slyusarenko K., Sadovenko M. Environmental investments as the basis of "green" economy: empirical evidence from Ukrainian companies. *SHS Web of Conferences.* 2021. № 107. 06007. DOI: 10.1051/shsconf/202110706007.
18. Yavorska N. Modeling the impact of environmental investments on the environment state. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 5. С. 44–47. DOI: 10.15587/2706-5448.2020.215648.

УДК 627.512/502.573
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.21

ЗАТОПЛЕННЯ ТА ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ: РИЗИКИ ДЛЯ ВОДНОЇ ТА ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ

Строкаль В.П.[1], **Шевчук С.А.**[2]
[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ
[2]Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського
проспект Науки, 39, 02000, м. Київ
vita.strokal@gmail.com, strocal_v@nubip.edu.ua, sergey_shevchuk_@ukr.net

В контексті російсько-української війни, забезпечення населення якісною й доступною (питною) водою та продуктами харчування є основними викликами. Враховуючи екологічні наслідки та злочини які здійснює росія на території України, у тому числі – від руйнування Каховської ГЕС, питання водної та продовольчої безпеки потребує суттєвої уваги.

Наукова новизна роботи полягала в теоретико-аналітичному аналізі наслідків підтоплення територій для водозабезпечення галузей народного господарства, що виникли в результаті підриву Каховської ГЕС, як екологічного злочину проти довкілля. Дослідження стосувалися загроз для водної та продовольчої безпеки. Ризики для водної безпеки в контексті дослідження передбачали аналіз ситуації щодо якості води та водозабезпечення населення; продовольчої безпеки – аналіз затоплених територій та с.г. земель, пошкодження зрошувальних систем, мору риб. Предметом дослідження була гребля Каховської ГЕС, яка була підірвана 6 червня 2023 року і спричинила широкомасштабне затоплення. Об'єктом дослідження є аналіз наслідків затоплення заплавної зони нижнього Дніпра (дніпровських плавнів) та прилеглої територій в контексті водної та продовольчої безпеки регіону півдня України.

У ході проведених досліджень було встановлено, що основними ризиками для водної безпеки є: погіршення якості води (органічне, біогенне та хімічне забруднення); посилення процесів евтрофікації у воді через потрапляння відходів різного характеру; поява інфекційних захворювань (ротавірус) у населення; збільшення кількості населення яке не матиме можливості до доступної якісної питної води. Продовольча безпека може включати мати наступні ризики: скорочення придатних сільськогосподарських земель для вирощування овочевих, баштанних, зернових та олійних культур південного регіону; зменшення врожайності через відсутність зрошувальних систем; прямі та непрямі втрати експортного потенціалу країни; скорочення рибницьких господарств (рибогосподарських підприємств) через затоплення та руйнування гідротехнічних споруд рибного господарства (для вирощування аквакультури) у південних регіонах України. *Ключові слова:* затоплення та підтоплення територій, водна безпека, продовольча безпека, забруднення води, Каховська ГЕС, сільськогосподарські землі, зрошувальні системи, російсько-українська війна.

Flooding of Ukrainian territories: risks for regional water and food security. Strokal V., Shevchuk S.

In the context of the Russian-Ukrainian war, water and food security are today the main challenges. Considering the environmental consequences and crimes committed by Russia on the territory of Ukraine, including the destruction of the Kakhovka HPP dam, the issue of water and food security requires considerable attention.

The scientific innovation of this article is the theoretical and analytical analysis of the consequences of flooding of the areas for the water and food supply at the regional level, which occurred as a result of the explosion of the Kakhovka HPP, as an ecological crime against the environment. The research concerned threats and risks to water and food security. Risks for water security in the context of the article included an analysis of the situation regarding water quality and water supply for the population and agriculture; food security – analysis of flooded areas and lands, damaged irrigation systems, lost agricultural crops, and decreased agricultural yield.

The subject of the research was the Kakhovka HPP dam, which was blown up on June 6, 2023, and caused large-scale flooding. The object of the research is the analysis of the consequences of the flooding of the floodplain in the lower Dnipro (Dnieper floodplains) and surrounding territories to supply water and food security at the regional level.

In this article, we established the main risks to water security: deterioration of water quality (we assumed that water quality will be decreased due to organic, biogenic, and chemical pollution); enhancement of eutrophication processes in water due to the release of waste of various nature; the emergence of infectious diseases (rotavirus) in the population; an increase in the number of the community that will not have access to affordable, high-quality drinking water. In addition, we analyzed the main risks to food security: reduction of suitable agricultural land for growing vegetables, melons, grains, and oil crops in the southern region; the decrease of yield due to lack of irrigation systems; loss of productive land; direct and indirect losses of the country's export potential; reduction of fish farms (fish farming enterprises) due to flooding and destruction of hydro-technical structures of fish farming (for aquaculture) in the southern regions of Ukraine. *Key words:* flooding of territories, water security, food security, water pollution, Kakhovka HPP dam, agricultural land, irrigation systems, Russian-Ukrainian war.

Постановка проблеми. З огляду на останні екологічні наслідки, які завдала росія для території України, зокрема підрив Каховської ГЕС [7], що стало причиною масового затоплення та підтоплення територій півдня України, загрози водозабезпечення населення та зрошувальних систем для

поливу сільськогосподарських культур, виникнення несприятливих умов для аграрного сектору та життєдіяльності населення в цілому – питання водної та продовольчої безпеки країни є досить актуальними у контексті наслідків від затоплення та підтоплення територій.

Актуальність дослідження. В контексті російсько-української війни, зокрема з моменту повномасштабного вторгнення військ рф до України (24 лютого 2022 року), забезпечення населення якісною й доступною питною водою та продуктами харчування є основними викликами, які стоять перед державою. Це зокрема пов'язано із значними екологічними наслідками [5, 21], які виникли в результаті військових дій та екологічних злочинів, що окупанти здійснюють кожного дня [43]. Внаслідок військових дій страждають всі природні ресурси України, зокрема внаслідок бомбардувань, обстрілів та мінувань порушуються природні ландшафти та безпосередньо ґрунтовий покрив, що у свою чергу спричинило зміну трофічних ланцюгів природних екосистем [20]; воєнні дії призвели до руйнування водної інфраструктури (очисних споруд, дамб, каналів тощо), що, у свою чергу, спричинило погіршення якості водних ресурсів та водозабезпечення населення в цілому [5, 9, 11]; також на окупованих територіях та на тих що деокуповані частково або повністю зруйновані міграційні коридори та шляхи рідкісних видів тварин та птахів [20]. Враховуючи екологічні наслідки, які виникли в результаті заподіяної шкоди військами рф довкіллю України [7, 31, 43], у тому числі – від руйнування Каховської ГЕС [3, 7], що спричинила широкомасштабне затоплення та масове підтоплення територій та сільськогосподарських земель – викликає занепокоєння продуктивність цих земель та виникнення загроз, які можуть унеможливити вирощування сільськогосподарських культур в умовах війни.

Питання продовольчої безпеки. Російське вторгнення в Україну руйнує глобальні [16] та національні сільськогосподарські й продовольчі ринки, викликаючи глобальну небезпеку для аграрного експорту та пряму загрозу внутрішній продовольчій безпеці [23]. В глобальному аспекті, Україна є великим експортером пшениці (припадає 10% світового експорту), кукурудзи (15%), ячменю (15%) та соняшнику (зокрема олії – 50%) [23]. Лише на 8-й місяць повномасштабної війни, за даними KSE [23] збитки аграрного сектору України сягнули 6,6 мільярдів доларів США (23% від всієї вартості активів сільського господарства), а збитки сільського господарства України станом на квітень 2023 року становили 40,2 мільярда доларів США. Деякі експерти [18] вважають, що російсько-українська війна на глобальному рівні призведе до падіння торгівлі до 60%, стрімкого зростання цін на пшеницю до 50% та серйозної відсутності продовольчої безпеки до 30%. Внутрішня продовольча безпека також перебуває під загрозою. Зокрема вчені [19] вважають, що стан продовольчої безпеки України з роками буде погіршуватися. За їхніми прогнозами, індекс продовольчої безпеки (враховує індикатори якості та безпеки, економічної доступності, стійкості та адаптації до змін клімату) до 2025 року знизиться до 5%, порівняно із тим, який був до початку повномасштабної російсько-української війни [19].

Питання водної безпеки. В ході повномасштабної війни забезпечення населення та аграрного сектору якісною й доступною водою стає серйозним викликом сьогодення [12-14]. Це пов'язано із ризиками та наслідками екологічних злочинів, які завдає росія кожного дня [8, 20, 21]. Зокрема водні ресурси окупанти використовують як «зброю» для досягнення власної мети, руйнуючи греблі, дамби, мостові шляхи [5, 6] та водну інфраструктуру в цілому [11]. Без водопостачання залишаються міста Луганської та Донецької областей, частково пошкоджено об'єкти систем водопостачання та водовідведення у Запорізькій, Харківській та Миколаївській областях. Постійно відбувається атака на водну інфраструктуру областей півдня України вздовж узбережжя [5, 20]. Внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС [3, 7] затоплена площа територій півдня України становить 612 км^2 [3, 7]. Відповідно це створило загрозу водній безпеці територій та водозабезпечення населення та аграрного сектору доступною і якісною водою.

Варто зазначити, що питання водної та продовольчої безпеки є актуальними також у контексті європейської інтеграції.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями полягає у синтезі наукових та інформаційно-аналітичних даних щодо виокремлення основних наслідків впливу війни та викликів, які можуть стояти перед продовольчою та водною безпекою країни в контексті виникнення руйнівних паводків, як результату пошкодження водної інфраструктури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями впливу російсько-української війни на стан водної та продовольчої безпеки займаються чимало науковців та експертів з галузей гідрології, екології, охорони навколишнього середовища та економіки.

Водні питання в контексті війни. Дослідження водних конфліктів, які стосуються використання води як «зброї» висвітлено у працях Хільчевського В.К. (ознаки водних конфліктів у світі та в Україні, 2022 р. [6]), Горбулін В.П. (водні конфлікти як індикатор загострення кризи прісної води 2023 р. [8]), Строкаль В.П. (наслідки та ризики водних конфліктів, 2022 р. [5]), Kitowski I., Sujak A., & Drygaś M. (водні виміри російсько-українського конфлікту, 2023 р. [14]), Gleick P.H., & Shimabuku M. (водні конфлікти та хронологія їх у часі, 2023 р. [45]). Війна завдає непоправних наслідків водній інфра-

структурі. Зокрема вплив російсько-українського збройного конфлікту на водні ресурси та водну інфраструктуру розкрито у працях Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A., Khilchevskyi V., De Meester L., Stepanenko S., … & Gleick P. (2023) [11]. Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України, з врахуванням наслідків руйнування водної інфраструктури описано у науковій роботі вчених Макаренко Н.А., Строкаль В.П., Бережняк Є.М., Бондарь В.І., …Ковпак А.В. (2022) [20]. Екологічним наслідкам від російсько-української війни присвячені праці Xenarios S. (зроблена оцінка масштабів збитку для прісноводних ресурсів України враховуючи екологічні наслідків війни, 2023 [20]), Rawtani D., Gupta G., Khatri N., Rao P.K., & Hussain C.M. (описані наслідки російсько-української війни для економіки, інфраструктури, здоров'я та довкілля, 2022 [12]), Hrytsku V., & Derii Z. (зроблений аналіз екологічних наслідків війни в Україні, які призвели до безперервного забруднення атмосфери, води та ґрунтів, 2022 [13]). Досить важливим питанням дослідження є вплив війни на стан водосховищ країни, які є головними джерелами забезпечення водою населення та зрошувальних систем. У працях Ladyka M., & Starodubtsev V. (2022) [9] висвітлені результати дослідження наслідків впливу війни на стан Київського та Канівського водосховища.

Питання продовольства в контексті війни. Вплив війни на сільське господарство України та ризики глобальній продовольчій безпеці висвітлено у працях Glauben T., Svanidze M., Götz L., Prehn S., Jamali Jaghdani T., Đurić I., & Kuhn L. (2022) [46], Woertz E. (2022) [15], Chepeliev M., Maliszewska M., & Pereira M. F. S. E. (2023) [16], Родінова Н., Дергач А., & Гудзь Г. (2022) [48]. Наслідки російсько-української війни для глобальної та регіональної продовольчої безпеки наведені у праці Abay, K. A., Breisinger C., Glauber J., Kurdi S., Laborde D., & Siddig, K. (2023) [17], а також у праці Агакерімова Р. (2023) [49]. Прогноз та сценарії залежно від того, як війна вплине на врожай пшениці та перебої в торгівлі представлені у дослідженнях Lin F., Li X., Jia N., Feng F., Huang H., Huang J., … & Song X.P. (2023) [18]. Оцінка стану та прогноз розвитку аграрного сектору в умовах війни, аналіз продовольчої безпеки висвітлено у роботі Гобела, В., Мельник, С., & Курляк, М.Я. (2022) [19]. Сучасному стану продовольчої безпеки України та ризикам для аграрного виробництва які виникли під час війни, можливим шляхам вирішення наявних проблем присвячені праця Бойко В., Бойко Л. (2022) [47].

З огляду на вище висвітлений аналіз наукових праць, недостатнім залишається питання впливу екологічних наслідків від поверхневого затоплення та підтоплення територій на стан регіональної водної та продовольчої безпеки.

Новизна наукової роботи полягає, що автором проаналізовано інформаційно-аналітичні дані наслідків підтоплення територій, що виникли в результаті підриву Каховської ГЕС в контексті російсько-української війни; виокремлено категорії, за якими обґрунтовано наслідки та ризики які впливають (або вплинули) на забезпечення населення продовольством (продовольча безпека) та доступною якісною водою (водна безпека).

Методологічне та загальнонаукове значення. Концепція наукової роботи включає аналіз та синтез даних з різних наукових, інформаційно-аналітичних джерел щодо обґрунтування наслідків від підтоплення територій, які виникли в результаті підриву греблі Каховської ГЕС та вплинули на стан регіональної водної та продовольчої безпеки (рис. 1).

В основу дослідження увійшли наслідки від руйнування Каховської ГЕС, які спричинили підтоплення/затоплення дельтової та заплавної зони та населених пунктів нижче за течією, створили загрози для водної та продовольчої безпеки.

Ризики для *водної безпеки* в контексті дослідження передбачали аналіз ситуації щодо якості води та водозабезпечення населення; *продовольчої безпеки* – аналіз затоплених територій та с.г. земель, пошкодження зрошувальних систем, мору риб.

Предметом дослідження є гребля Каховської ГЕС, яка була підірвана 6 червня 2023 року і спричинила масове затоплення. Об'єктом дослідження був аналіз наслідків підтоплення плавневої зони та територій в контексті водної та продовольчої безпеки регіону півдня України.

Виклад основного матеріалу. Річкова система України включає Дніпровський каскад із шести водосховищ (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське, Каховське), що забезпечують до 80% території країни водою [44] та гідроелектростанцій (Київська ГЕС – м. Вишгород, Канівська

Рис. 1. Концепція наукової роботи

ГЕС – м. Канів, Кременчуцька ГЕС – м. Світловодськ, Середньодніпровська ГЕС – м. Кам'янське, Дніпровська ГЕС – м. Запоріжжя, Каховська ГЕС – м. Нова Каховка). Київське водосховище та Київська ГЕС знаходиться на півночі каскаду, Каховське водосховище та Каховська ГЕС – на півдні каскаду.

Російські війська вчили черговий екологічний злочин, підірвавши 6 червня 2023 року греблю Каховської ГЕС, яка забезпечувала багаторічне регулювання стоку р. Дніпро для живлення електроенергією, зрошення та водозабезпечення засушливих регіонів півдня України. За словами президента України Володимира Зеленського – це найбільший акт екоциду, який росія вчинила з початку повномасштабного вторгнення в Україну [31]. Цей злочин завдав шкоди населенню, піддавши під загрозу безпосередньо їхнє життя [25-27, 32, 42]; довкіллю, знищивши природні комплекси, рідкісні види флори й фауни [32, 37], спричинивши забруднення води [28, 32, 39, 40]; аграрному комплексу, затопивши домогосподарства [25-27] та сільськогосподарські поля [32-34], викликавши порушення роботи зрошувальних систем внаслідок відсутності води для поливу [36-37]. Всі ці наслідки викликали загрозу продовольчій і водній безпеці.

Інтенсивність затоплення та підтоплення територій внаслідок підриву греблі Каховської ГЕС наведено на рисунку 2. За даними Українського гідрометеорологічного центру можна спостерігати, що за перші три дні після підриву греблі вода з великою інтенсивністю почала затоплювати території і рівень води досяг позначки 5,68 метрів Бс (3-й день – 08.06.2023). На 9-й день після підриву рівень води у р. Дніпро на позначці «Херсон» знизився на понад 3 метри та становив 2,44, і лише на 20-й день – рівень води стабілізувався та становив на 1 см (0,32 м) більше від показника, який був до підриву греблі (0,31 м).

Внаслідок підриву Каховської ГЕС відбулося обміління Каховського водосховища (рис. 3). Варто зазначити, що Каховське водосховище створене греблею Каховської ГЕС на р. Дніпро в Запорізькій, Дніпропетровській та Херсонській областях, об'ємом 18,2 км^3, є другим за величиною в Україні і основним джерелом для водопостачання населення та зрошення сільськогосподарських культур регіонів півдня України. Як бачимо з графіку (рис. 3) в перший день після підриву греблі рівень води у водосховищі почав різко падати з інтенсивністю до 15 см за годину, а на другий день (07.06.2023 року в 18:00) рівень води впав на 2,8 метри [24, 43]. Станом на 11.06.2023 року рівень води у водосховищі впав до катастрофічної позначки – 9,35 [56]. Станом на 14 червня 2023 року Каховське водосховище обміліло до 72%, втрачено близько 14,755 км^2 води [24, 43, 56].

Підрив Каховської ГЕС спричинив затоплення/підтоплення територій та спуск й обміління водосховища (рис. 4). Ці два основні наслідки призвели до загрози водної та продовольчої безпеки регіону (табл. 1).

З огляду на вище викладений матеріал, підрив Каховської ГЕС спричинив два головних наслідки: затоплення/підтоплення територій та спуск водосховища (рис. 4-5). Відповідно постраждали

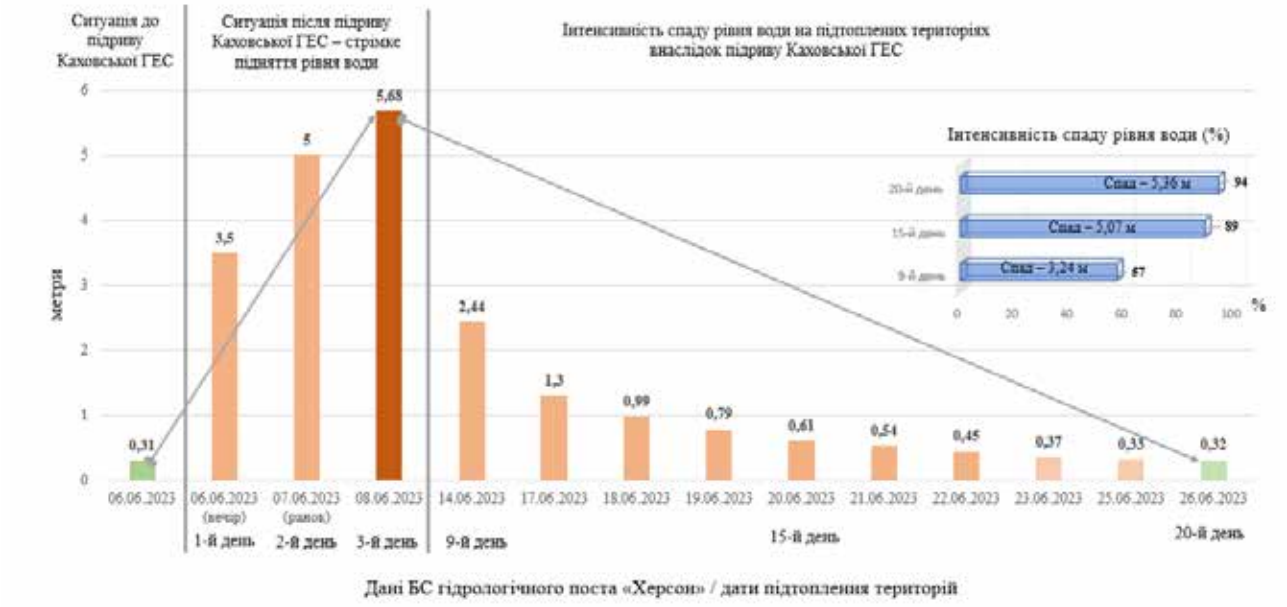


Рис. 2. Рівень води у Дніпрі на позначці у створі гідрологічного поста «Херсон», що характеризує інтенсивність підтоплення територій (для побудови графіку використовували дані із джерел [25, 31-32, 43, 50-52])

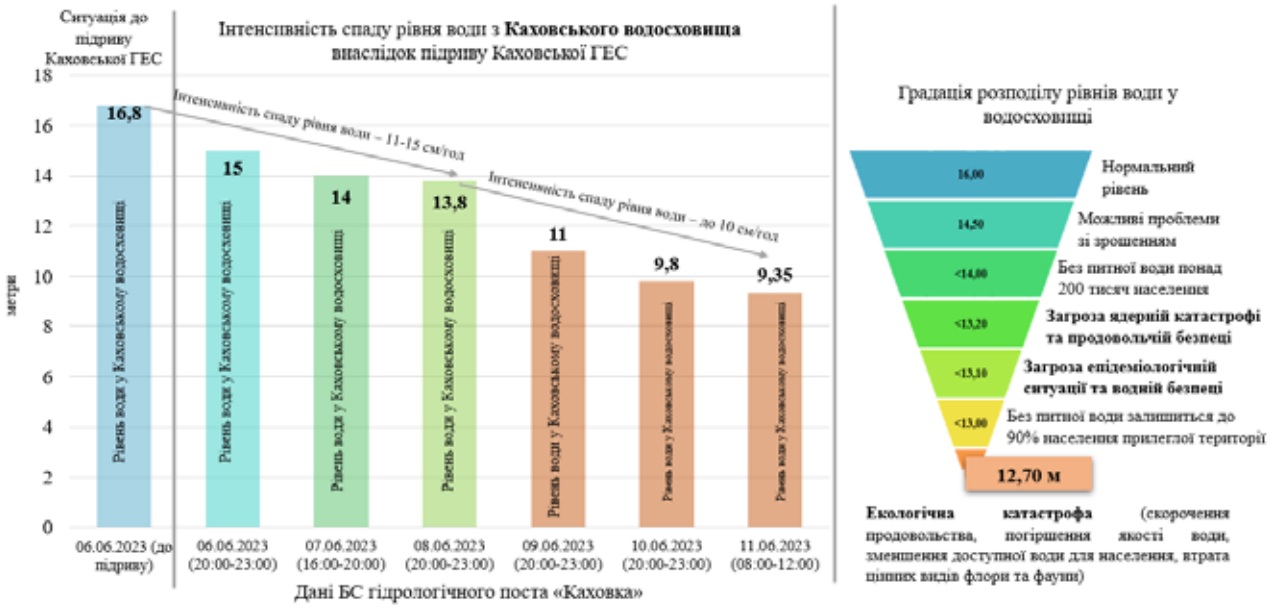


Рис. 3. Рівень води у Каховському водосховищі на позначці у створі гідрологічного поста «Каховка», що характеризує інтенсивність спаду рівня води (для побудови графіку використовували дані із джерел [24, 43, 53-56])

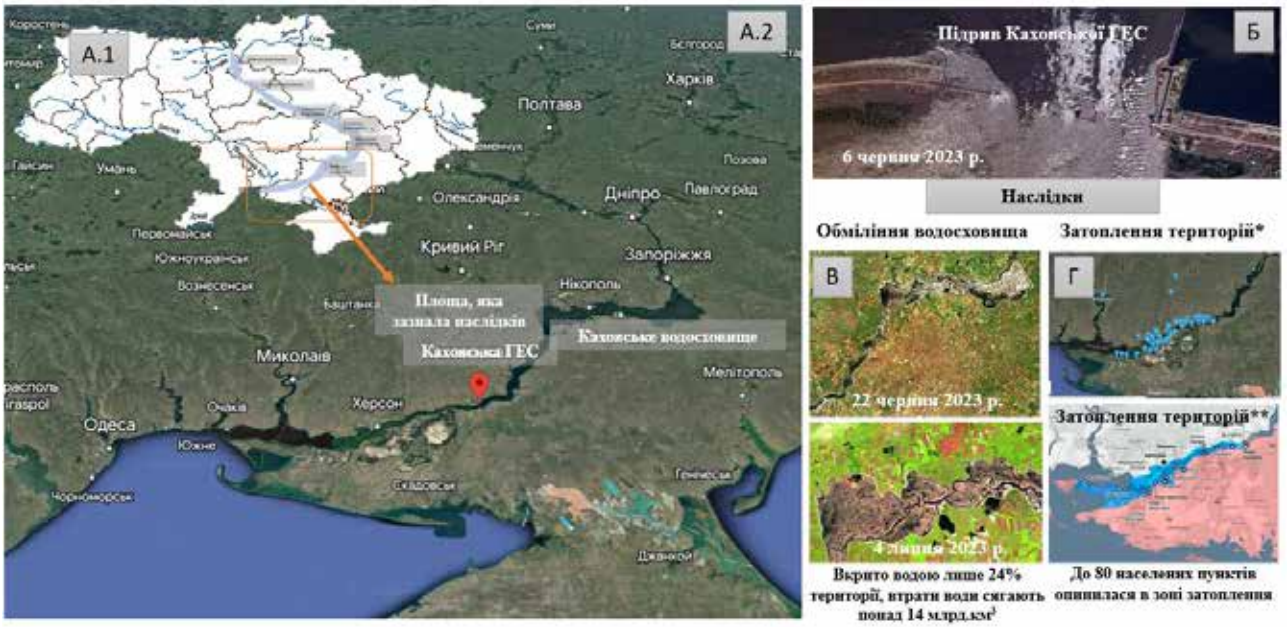


Рис. 4. Наслідки підриву Каховської ГЕС: обміління Каховського водосховища, затоплення території (Інформація та карти бралися із джерела літератури: А.1: карта власна; А.2: знімок зроблений із онлайн-карти [1]; Б та В: знімки взяті із джерела [2]; Г: знімок взятий із джерела [3]; Г**: знімок взятий із джерела [4])*

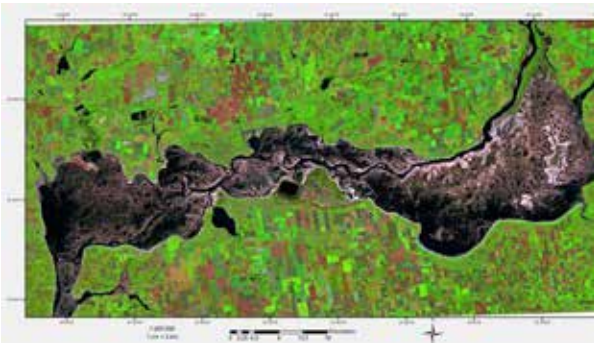
деякі частини територій Запорізької, Херсонської, Миколаївської, Дніпропетровської областей (карта А.1).

Ці два основні наслідки призвели до загрози водної та продовольчої безпеки регіону (табл. 1). В таблиці представлені основні екологічні наслідки за певними категоріями та ризики, які можуть виникнути в подальших перспективах.

Водна безпека. Вона формується з погляду забезпечення певних галузей народного господарства та населення доступною якісною водою у відповідній потрібній кількості. Основним джерелом водопо-

Супутниковий знімок дельтової частини річки Дніпро до підриву Каховської ГЕС від **03.06.2023 р.**

Супутниковий знімок затоплених заплавних та прилеглих до Дніпра території станом на **09.06.2023 р.**



Супутниковий знімок Каховського водосховища від **20.06.2023** року під час скиду води та початком відновлення русла річки Дніпро

Супутниковий знімок Каховського водосховища від **05.07.2023** року із залишками замкнених водойм та сформованим руслом Дніпра

Рис. 5. Супутникові знімки дельтової частини річки Дніпро (Шевчук С.А., Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського)

стачання та основний водозбір південних регіонів України відбувався з Каховського водосховища, яке втратило води до 72% [53, 56]. В результаті підтоплення відбувся виніс водою різних побутових речей [28], відходів різного походження [29], мертвих і навіть живих тварин [28], машинного мастила та нафтопродуктів [24, 31], рідких добрив [32]. Близько 31 об'єкта водопостачання та водовідведення постраждали, 13 населених пунктів залишилися без централізованого водопостачання [32], 4 звалища твердих побутових відходів затоплені повністю [32]. Також є припущення, що у р. Дніпро витекло близько 150 тонн машинного мастила, яке може дрейфувати по р. Дніпро і дійти до Чорного Моря [21, 24, 31]. Варто зазначити, що нафтопродукти, створюючи відповідні плівки на водоймі, досить суттєво впливають на фізико-хімічні та біологічні умови водойм, викликаючи загибель риб та мікроорганізмів [21]. Всі ці факти сприяли погіршенню якості води у р. Дніпро [39-40] та прибережних територій Чорного Моря [28, 41] (табл. 1). З огляду на викладений матеріал основними ризами від підтоплення є відсутність водозабезпечення у постраждалих регіонах, погіршення якості води.

Продовольча безпека. Каховське водосховище, було джерелом живлення для 584 тис. гектарів земель на які подавалася вода для зрошення. Зокрема Каховський магістральний канал обслуговував 326 тис. га а Північно-Кримський – 39,7 тис. га сільськогосподарських земель. Також через певні системи у Запорізькій, Дніпропетровській також здійснювався водозбір води для сільськогосподарських земель [36]. Підтоплення прибудинкових територій, домогосподарств, сільськогосподарських земель може призвести до суттєвих втрат врожаю, продуктивності земель, порушення роботи зрошувальних систем, знищення рибного господарства (табл. 1). За прогнозами [34] втрати врожаю на правобережжі Херсонщини сягають 100 тис. тонн, а також приблизно 14% сягають втрати експортного

Таблиця 1

Основні наслідки та ризики від руйнування Каховської ГЕС

Категорія	Наслідки та ризики
	Для водної безпеки
Втрата води у водосховищі	Рівень води у Каховському водосховищі знизився до 70-72% (станом на 14.06.2023) [23, 24]. Втрати води становлять 14,536 млрд.км^3 (дис.рис. 2), відбулося обміління водосховища (див. рис. 4). Ризик: погіршення епідеміологічної ситуації регіонів, і яких основним джерелом водопостачання було Каховське водосховище
Виніс забруднення водою	З русла Дніпра до узбережжя Одеської області прибувала побутова техніка, частини будинків, мертвих і навіть живих тварин (причому не лише свійських, а й диких, наприклад сарну європейську) [28]. Ризик: забруднення води побутовими предметами, вплив на біоту водойм
	Українським Півднем (р. Дніпро) дрейфують відходи різного походження, які зберігалися на площі понад 15 га (майже 4 тисячі тонн твердих побутових відходів з полігонів та стихійних сміттєзвалищ розмила вода) [29]. Ризик: можливе органічне та біогенне забруднення води
	Прогнозовано, що у р. Дніпро витекло близько 150 тонн машинного мастила, які дрейфують по річці Дніпро [24, 31]. Ризик: можливе забруднення води нафтопродуктами
Об'єкти, які потрапили в зону підтоплення	Зона Каховської ГЕС. За інформацією «Каховська ГЕС імені П.С. Непорожнього» та ПАТ «Укргідроенерго», в обладнанні станції та маслосховищі до моменту підриву, містилося 465 тон мастила, які з великою ймовірністю потрапили до р. Дніпро [32]. Ризик: можливе забруднення води небезпечними речовинами
	АЗС. 7 із 15 автозаправних станцій, які розташовані на правобережжі Херсонщини – повністю затоплені; 4 із 6 автозаправних станцій на території м. Олешки – з 99% ймовірністю також затоплені [32]. Ризик: можливе забруднення води небезпечними речовинами, можливе забруднення нафтопродуктами
	Місця зберігання добрив. Пошкоджено цілісність та герметичність ємкостей зберігання рідких добрив (карбаміду-аміачна суміш), які розташовані на території ТОВ «Паллада Шип'ярд» (м. Херсон) [32]. Ризик: потрапляння небезпечних відходів у воду (особливо хімічних речовин) Ризик: забруднення води хімічними речовинами, підвищення рівня процесу евтрофікації водойм, можлива поява біогенного забруднення водойм
	Звалища ТПВ. Затоплено 4 звалища ТПВ в Херсонській обл. [32]: o 1 в Каховському районі (800 м. від с. Нові Олешки) площею 0,25 га; o 2 в Херсонському районі: один в с. Великі Копані, площею 4,9 га, інший – біля південно-східної частини м. Олешки, площею 9,2 га; o 1 в Бориславському районі (с. Одрадокам'янка) площею 0,96 га. Ризик: забруднення води небезпечними та хімічними речовинами, підвищення рівня процесу евтрофікації водойм, можлива поява органічного та біогенного забруднення водойм
Анонси можливого забруднення водойм	За даними Державної екологічної інспекції Південного округу встановлено: – у пробах поверхневої води *р. Дніпро в межах м. Запоріжжя*, відібраних 12.06.2023 року були відхилення від норми за вмістом розчиненого кисню, який складав 2,43 мг/дм^3 при нормі 4,0 мг/дм^3 (проби відібрані 12.06.2023) [32], у пробах, станом на 19.06.2023 року даний показник складав від 3,84 мг/дм^3 до 3,57 мг/дм^3 [39]; – у пробах поверхневої води *р. Дніпро в межах м. Херсон*, відібраних 12.06.2023 року виявлено перевищення ГДК за показниками: завислі речовини в 1,7 раз, залізо загальне у 2,8 раз; також вміст розчиненого кисню становив 3,8 мг/дм^3 при нормі 4,0 мг/дм^3 (проби відібрані 12.06.2023) [32]; у пробах, станом на 19.06.2023 року вміст заліза загального перевищував у 2 рази відповідно норми (для рибогосподарських цілей) [39]; – у пробах води *р. Дніпро в межах Херсонського морського торговельного порту* станом на 23.06.2023 р. зафіксовано підвищений вміст аніонних поверхнево-активних речовин – 0,28, перевищення гранично допустимої концентрації по вмісту заліза загального у 1,8 раз [40]; – у пробах води *р. Інгулець*, відібраних 13.06.2023 року було встановлено перевищення гранично допустимих органічних речовин за показником $БСК_5$ у 1,87 рази, станом на 19.06.2023 р. зафіксоване відхилення від норми вмісту розчиненого кисню (3,70 мг/дм^3 при нормі 4,0 мг/дм^3) та перевищення гранично допустимої концентрації по залізу загальному у 2,1 раз (для рибогосподарських цілей) [39]; станом на 23.06.2023 р. фіксується зростання нітритів, що потенційно пов'язано зі сходженням води та змивом забруднень з територій [40].

Продовження табл. 1

Анонси можливого забруднення водойм	Ризик: можливе органічне забруднення (свідченням є перевищення у воді ГДК за показником $БСК_5$, відхилення від норми за показником розчиненого кисню); хімічне забруднення (свідченням є перевищення ГДК у пробах води за показником заліза загального); загроза існування водних біоресурсів (свідченням є дані за показником розчиненого кисню у воді)
	Зниження рівня солоності у воді Чорного моря призвело до появи у морській воді потенційно токсичних ціанобактерій (зафіксовано біля узбережжя м. Одеси) [41]. До узбережжя Одеської області в перші дні після підриву ГЕС прибуло чимало побутової техніки, частин будинків, мертвих і навіть живих тварин (причому не лише свійських, а й диких, наприклад сарну європейську) [28]. Ризик: поява евтрофікації, хімічне та органічне забруднення
Наявність захворювання	Внаслідок підтоплення територій, винесення водою різних забруднюючих речовин та побутових елементів життєдіяльності людини, виникла загроза появі гострої кишкової інфекції «ротавірус» (станом на 13.06.2023 року було зафіксовано у морській та річковій воді в Одеській області) [42]. Ризик: поява тяжкої діареї у населення
Водопостачання і водовідведення	Постраждав 31 об'єкт водопостачання та водовідведення [33]. Проблеми із забезпеченням водою є в Дніпропетровській (найбільше у м. Кривий Ріг), Запорізькій (найбільше у населених пунктах Біленьківської сільської територіальної громади), Херсонській (найбільше у Нововоронцовської, Новоолександрівської, Верхньо-Рогачицької громад), Миколаївській областях [32]. Понад 200 тис. мешканців міст Нікополь, Марганець, Покров, Томаківка мають критичну ситуацію із водопостачанням [32]. Станом на 14.06.2023 року в 13 населених пунктах Баштанського району Миколаївської області було припинено централізоване водопостачання (Михайлівка, Галаганівка, Єлизаветівка, Юр'ївка, Афанасіївка, Нововасилівка, Новокондакове, Ясна Поляна, Павло-Мар'янівка, Василівка, Новопавлівка, Новотимофіївка, Лиманці) [32]. Ризик: загроза виникнення епідеміологічної ситуації через використання непридатної води для споживання
Для продовольчої безпеки	
Підтоплення територій*	*Площа* затоплених територій. Затоплено 612 км^2 територій (станом на 10.06.2023 р.) [28]: – Херсонська обл.: 554,6 км^2 (55459 га); – Миколаївська обл.: 57,8 км^2 (5776,8 га). Ризик: знищення овочевої, зернової, баштанної продукції, які є основними культурами що вирощуються в даних областях
	Кількість підтоплених населених пунктів. До 80 населених пунктів Херсонської та Миколаївської областей опинилися в зоні підтоплення. *Херсонська обл.* (станом на 13.06.2023 р.): 45 населених пунктів (28 – на правобережжі, 17 – на лівобережжі) [25], орієнтовна кількість громадян які могли постраждати – 60 тис.осіб. [26]. *Миколаївська обл.* (станом на 10.06.2023 р.): 31 населений пункт (Миколаївського – 11 населених пунктів та Баштанського районів – 20 населених пунктів) [32], у т.ч. 540 будівель, 856 городів, 549 господарств [27]. Ризик: знищення присадибних ділянок, особистого селянського господарства, ферм з вирощування великої рогатої худоби тощо
	Площа підтоплених сільськогосподарських земель. Понад 500 тис.га земель у Херсонській, Запорізькій, Дніпропетровській та Миколаївській областях будуть непридатними для ведення сільського господарства через повне або часткове підтоплення їх затоплення [34]. Загалом станом на 13.06.2023 р.: – по *Херсонській області* на правобережжі на постраждалих територіях орієнтовно підтоплено та затоплено 10 тис. кв.км сільськогосподарських земель, лівий берег – в тимчасовій окупації, прогноз зробити важко [33]; – по *Миколаївській області* на постраждалих територіях орієнтовно підтоплено та затоплено 6,34 кв.км сільськогосподарських земель [32]. Ризик: втрата продуктивності земель, зменшення обсягу земель для вирощування культур, втрати експортного потенціалу

Закінчення табл. 1

Втрата врожаю	За словами першого заступника міністра аграрної політики та продовольства України Тараса Висоцького [34]: – на правобережжі Херсонщини втрачено понад 100 тис. тонн врожаю; – на лівобережжі Херсонщини важко спрогнозувати, оскільки територія під тимчовою окупацією, відомо що там зберігалося понад 200 тис. тонн врожаю зернових культур. Ризик: зменшення експортного потенціалу
	На постраждалих сільськогосподарських землях вирощували два блоки продукції, які зазнали впливу, зокрема [34]: – овочеві та баштанні культури: відсутність водопостачання (джерело – Каховське водосховище) створило непридатні умови для вирощування цих культур; – зернові та олійні культури (соя, кукурудза, соняшник, пшениця): вирощування цих культур можливе лише за екстенсивною моделлю з низькою врожайністю. Ризик: зменшення обсягу виробництва продукції та загалом скорочення аграрного потенціалу
	Прогнозовано втрати експортного потенціалу зернових лише в Херсонській області становлять 14% [32].
	Прямі та непрямі втрата українського агросектору можуть перевищувати понад 10 млрд. доларів [35].
Порушення роботи зрошувальних систем	31 система зрошення полів Дніпропетровської, Херсонської та Запорізької областей забезпечувала зрошення на 584 тис. га., з яких збирали понад 4 млн тонн зернових і олійних культур [37]. Основним джерелом водопостачання було Каховське водосховище. Більша частина з них залишилася без джерела водопостачання, а саме [36]: o в Херсонській обл.: 94% зрошувальних систем без водопостачання; o в Запорізькій обл.: 74% зрошувальних систем без водопостачання; o в Дніпропетровській обл.: 30% зрошувальних систем без водопостачання. В цих областях зрошувальні системи здійснювали водозабір з водосховища на загальну площу зрошення 218,3 тис. га [36]. Ризик: втрата врожайності, втрата продуктивності земель, зменшення обсягу виробництва продукції
Рибницьке господарства	Затоплено і повністю зруйновано 107 гідротехнічних споруд Державного агентства меліорації та рибного господарства України [37], зокрема: o у с. Стара Збур'ївка Скадовського району затоплено 460,9 виросних, зимувальних та нагульних ставів (16 об'єктів); o у м. Олешки під водою знаходяться 253,5 га виросних та зимувальних ставів (75 об'єктів); o у с. Солонці Херсонського району затоплено 330,1 га виросних, зимувальних та нагульних ставів (16 об'єктів). Ризик: зменшення риборозведення, втрата видів риб
	Збитки для рибної галузі від загибелі лише дорослих особин можуть сягнути 95 тис. тонн (близько 4 млрд. грн) [37]. Ризик: зникнення видів риб
	Затоплено повністю єдиний в Україні осетровий завод [33]. Ризик: зникнення виду риб
Мисливське господарство	Постраждало 17 мисливських угідь, зокрема [32]: o Херсонська обл.: 9 мисливських угідь на площі 395,03 тис. га; o Миколаївська обл.: 8 мисливських угідь на площі 8,285 тис. га. Ризик: зменшення цінних видів тварин

*можуть стосуватися водної безпеки

потенціалу зернових [32]. Суттєвого впливу зазначили зрошувальні системи, зокрема 31 [37] – залишилася без доступу до джерел водопостачання (94% в Херсонській обл., 74% – Запорізькій обл., 30% – Дніпропетровській обл. [36]), які здійснювали водозбір з водосховища на загальну площу зрошення 218,3 тис. га [36]. Відповідно можна сказати, що основними ризиками від підтоплення територій та осушення водосховища може стати зменшення врожайності та обсягу виробництва продукції, втрата продуктивності земель, скорочення рибницького господарства та скорочення експортного потенціалу (особливо зернових та олійних культур).

За офіційною інформацією Міністерства економіки України щонайменше $2 млрд прямих збитків завдано Україні через підрив Каховської ГЕС [57]. Підтвердженням цього є попередні розрахунки отримані відповідно до аналізу KSE Institute [58]. Зокрема, *збитки* охоплюють: *житлове господарство*: $950 млн збитків (у зону підтоплення потрапило близько 20-30 тис. будинків у Харківській області та понад 500 приватних будинків у Миколаївській

області); *енергетику*: $624 млн збитків (зруйновано Каховську гідроелектростанцію, яка не підлягає відновленню); *транспортну інфраструктуру*: $311 млн збитків (від повені постраждали 290 км доріг); *промисловість*: $105 млн збитків (затоплено 28 великих промислових об'єктів, розташованих на правому та лівому березі Дніпра); *сільське господарство*: $25 млн збитків (знищення посівів сільськогосподарських культур, поголів'я худоби та риби); *довкілля та екологію*: $1,5 млрд збитків (150 тон нафти витекло у р. Дніпро, рівень солоності Чорного Моря утричі нижчий за норму, постраждали природно-заповідні парки та обєкти Смарагдової мережі).

Головні висновки. Виходячи з аналізу та синтезу інформаційних даних літератури, нами виокремлено наступні ключові положення.

Водна безпека: основними ризиками, які можуть виникнути в подальшій перспективі є: погіршення якості води (органічне, біогенне та хімічне забруднення); посилення процесів евтрофікації у воді через потрапляння відходів різного характеру; поява інфекційних захворювань (ротавірус) у населення; збільшення кількості населення яке не матиме можливості до доступної якісної води.

Продовольча безпека: основними ризиками, які можуть виникнути в подальшій перспективі є: скорочення придатних сільськогосподарських земель для вирощування овочевих, баштанних, зернових та олійних культур південного регіону; зменшення врожайності через відсутність зрошувальних систем; прямі та непрямі втрати експортного потенціалу країни; скорочення рибницьких господарств через затоплення та руйнування гідротехнічних споруд рибного господарства у південних регіонах України.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати дослідження можуть бути використанні для моніторингових досліджень впливу війни на стан якості водних та земельних ресурсів.

Література

1. Google Landsat / Copernicus: on-line map. Internet-resource. URL: https://earth.google.com/ (Дата звернення: 17.07.2023)
2. Наслідки підриву Каховської ГЕС. Інтернет-ресурс. URL: https://www.facebook.com/Serhii.Shevchuk.PhD (Дата звернення: 04.07.2023)
3. Карта затоплення від Каховської ГЕС: он-лайн карта. Інтернет-ресурс. URL: https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=15UR1jhwW2R9Um2OyN2b4lDNKvci1aMY&ll=46.66514997231697%2C32.763755689143906&z=11 (Дата звернення: 04.07.2023)
4. Соколова Ю. Наслідки підриву Каховської ГЕС: які населені пункти затопило. Новини від 12.06.2023: Факти ICTV. Інтернет-ресурс. URL: https://fakty.com.ua/ua/proisshestvija/20230612-pid-zagrozoyu-zatoplennya-desyatky-naselenyh-punktiv-karta-naslidkiv-pidryvu-kahovskoyi-ges/ (Дата звернення: 07.07.2023)
5. Строкаль, В., & Ковпак, А. (2022). Воєнні конфлікти та вода: наслідки й ризики. Науково-практичний журнал «Екологічні науки, 5(44), 94-102. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.5-44.14
6. Хільчевський В.К. (2022). Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. № 1(63). 6-19. URL: https://hydro-chemistry-ecology.knu.ua/wp-content/uploads/2022/06/1_%D0%93%D0%93%D0%93163.pdf
7. Дашборд із даними про загрози довкіллю: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів. Інтернет-ресурс. URL: https://ecozagroza.gov.ua/ (Дата звернення: 07.07.2023)
8. Горбулін, В. П., & Мосов, С. П. (2023). Водні конфлікти як індикатор загострення світової кризи прісної води. Вісник НАН України, (2), 3-11. URL: https://doi.org/10.15407/visn2023.02.003
9. Ladyka, M., & Starodubtsev, V. (2022). Water reservoirs and the war in Ukraine: environmental problems. EUREKA: Life Sciences, (6), 36-43. URL: https://doi.org/10.21303/2504-5695.2022.002664
10. Xenarios, S. (2023). Water at time of war. Nature Sustainability, 6(5), 485-486. URL: https://www.nature.com/articles/s41893-023-01065-0
11. Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., … & Gleick, P. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. Nature Sustainability, 6(5), 578-586. URL: https://www.nature.com/articles/s41893-023-01068-x
12. Rawtani, D., Gupta, G., Khatri, N., Rao, P. K., & Hussain, C. M. (2022). Environmental damages due to war in Ukraine: A perspective. Science of The Total Environment, 850, 157932. URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157932
13. Hrytsku, V., & Derii, Z. (2022). Ecological consequences of war in Ukraine. In Present Environment and Sustainable Development (pp. 56-57). URL: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/158385
14. Kitowski, I., Sujak, A., & Drygaś, M. (2023). The water dimensions of Russian–Ukrainian Conflict. Ecohydrology & Hydrobiology. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S164235932300054X
15. Woertz, E. (2022). The Russian War against Ukraine: Middle East Food Security at Risk. URL: https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/81596
16. Chepeliev, M., Maliszewska, M., & Pereira, M. F. S. E. (2023). The war in Ukraine, food security and the role for Europe. EuroChoices, 22(1), 4-13. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1746-692X.12389
17. Abay, K. A., Breisinger, C., Glauber, J., Kurdi, S., Laborde, D., & Siddig, K. (2023). The Russia-Ukraine war: Implications for global and regional food security and potential policy responses. Global Food Security, 36, 100675. URL: https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100675
18. Lin, F., Li, X., Jia, N., Feng, F., Huang, H., Huang, J., … & Song, X. P. (2023). The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security. Global Food Security, 36, 100661. URL: https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100661

19. Гобела, В., Мельник, С., & Курляк, М. Я. (2022). Продовольча безпеки України на фоні війни: оцінка стану та прогнозування тенденцій. URL: http://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/13427
20. Makarenko, N. A., Strokal, V. P., Berezhniak, Y. M., Bondar, V. I., Pavliuk, S. D., Vagaliuk, L. V., … & Kovpak, A. V. Вплив російської воєнної агресії на природні ресурси України: аналіз ситуації, методологія оцінювання. Наукові доповіді НУБіП України, (4 (98)). URL: http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.04.003
21. Природа та війна: як військове вторгнення Росії впливає на довкілля України. Екодія. Інтернет-ресурс. URL: https://ecoaction.org.ua/pryroda-ta-vijna.html (Дата звернення: 06.07.2023)
22. Підрив Каховської ГЕС: чотири категорії наслідків та план подальших дій. Новини від 14.06.2023: Економічна Правда. Інтернет-ресурс. URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2023/06/14/701156/ (Дата звернення: 30.06.2023)
23. KSE агроцентр. Вплив війни на українське сільське господарство. Інтернет-ресурс. URL: https://kse.ua/ua/war-impacts-on-ukrainian-agriculture/ (Дата звернення: 04.07.2023)
24. Руслан Стрілець: близько 146 мільярдів гривень. Така орієнтована сума завданих довкіллю збитків від підриву росією дамби Каховської ГЕС. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 30.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://mepr.gov.ua/ruslan-strilets-blyzko-146-milyardiv-gryven-taka-oriyentovana-suma-zavdanyh-dovkillyu-zbytkiv-vid-pidryvu-rosiyeyu-damby-kahovskoyi-ges/ (Дата звернення: 30.06.2023)
25. Рівень води на Херсонщині впав до 2,4 метрів. Новини від 13.06.2023: Мультимедійна платформа іномовлення України «Укрінформ-ukrinform.ua». Інтернет-ресурс. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3722506-riven-vodi-na-hersonsini-vpav-do-245-metra.html (Дата звернення: 01.07.2023)
26. ДСНС: На Херсонщині 46 населених пунктів підтоплені внаслідок підриву росіянами Каховської ГЕС. Новини від 09.06.2023: Інформаційне агентство «Інтерфакс-Україна» https://interfax.com.ua/news/general/915641.html (Дата звернення: 01.07.2023)
27. Сергій Албул. На Миколаївщині наразі підтоплений 31 населений пункт. Новини від 10.06.2023: LB.UA (https://lb.ua/). Інтернет-ресурс. URL: https://lb.ua/society/2023/06/10/559841_mikolaivshchini_narazi_pidtopleniy.html (Дата звернення: 12.06.2023)
28. Біатов А.П., Василюк О.В., Мойсієнко І.І., Артамонов В.А. і Пархоменко В.В. Екологічні наслідки теракту на Каховській ГЕС перевищують прогнози експертів. Новини від 12.06.2023: Українська природоохоронна група (UNCG). Інтернет-ресурс. URL: https://uncg.org.ua/ekolohichni-naslidky-teraktu-na-kakhovskij-hes-perevyshchuiut-prohnozy-ekspertiv/ (Дата звернення: 13.06.2023)
29. Уряд затвердив порядок управління побутовими відходами в особливих умовах. Новини на Урядовому порталі України від 19.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-zatverdyv-poriadok-upravlinnia-pobutovymy-vidkhodamy-v-osoblyvykh-umovakh (Дата звернення: 30.06.2023)
30. Чорне море винесло 150 мертвих українських дельфінів на береги двох країн. Новини від 21.06.2023: медіаплатформа «ЕкоПолітика» (© Ecopolitic.com.ua). Інтернет-ресурс. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/chorne-more-vineslo-150-mertvih-ukrainskih-delfiniv-na-beregi-dvoh-krain/ (Дата звернення: 30.06.2023)
31. Дайджест ключових наслідків російської агресії для українського довкілля за 25 травня – 9 червня 2023 року. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 09.06.2023: портал «ЕкоЗагроза». Інтернет-ресурс. URL: https://ecozagroza.gov.ua/news/120 (Дата звернення: 12.06.2023)
32. Оперативна інформація за наслідками підриву Каховської ГЕС станом на 06:00 13.06.2023. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 14.06.2023: портал «ЕкоЗагроза». Інтернет-ресурс. URL: https://ecozagroza.gov.ua/news/119 (Дата звернення: 14.06.2023)
33. Україна вимагатиме від Росії репарації за збитки внаслідок підриву Каховської ГЕС. Новини від 14.06.2023: espreso.tv. Інтернет-ресурс. URL: https://espreso.tv/ukraina-vimagatime-vid-rosii-reparatsii-za-zbitki-vnaslidok-pidrivu-kakhovskoi-ges-kubrakov (Дата звернення: 14.06.2023)
34. Втрачено декілька мільйонів тонн врожаю: Мінагрополітики про наслідки руйнування Каховської ГЕС. Новини від 08.06.2023: рубрика новин «Факти» (Fakty.com.ua). Інтернет-ресурс. URL: https://fakty.com.ua/ua/ukraine/ekonomika/20230608-vtracheno-dekilka-miljoniv-tonn-vrozhayu-minagropolityky-pro-naslidky-rujnuvannya-kahovskoyi-ges/ (Дата звернення: 14.06.2023)
35. Підрив ГЕС: у Мінагрополітики оцінили ймовірність критичного дефіциту продуктів. Новини від 12.06.2023: Інформаційне агентство «УНІАН» (https://www.unian.ua/). Інтернет-ресурс. URL: https://www.unian.ua/economics/agro/u-minagropolitiki-rozpovili-chi-varto-gotuvatisya-do-deficitu-produktiv-cherez-pidriv-kahovskoji-ges-12290208.html (Дата звернення: 14.06.2023)
36. Збитки гідротехнічної меліорації вже сягнули понад 150 млрд гривень. Новини Міністерства аграрної політики та продовольства України від 12.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://minagro.gov.ua/news/zbitki-gidrotehnichnoyi-melioraciyi-vzhe-syagnuli-ponad-150-mlrd-griven (Дата звернення: 14.06.2023)
37. 107 гідротехнічних споруд Держрибагентства затоплено на лівобережжі Херсонщини. Новини Міністерства аграрної політики та продовольства України від 13.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://minagro.gov.ua/news/107-gidrotehnichnih-sporud-derzhribagentstva-zatopleno-na-livoberezhzhi-hersonshchini (Дата звернення: 14.06.2023)
38. Знищення росіянами Каховської ГЕС завдало значних збитків сільському господарству України. Новини Міністерства аграрної політики та продовольства України від 06.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://minagro.gov.ua/news/znishchennya-rosiyanami-kahovskoyi-ges-zavdalo-znachnih-zbitkiv-silskomu-gospodarstvu-ukrayini (Дата звернення: 13.06.2023)
39. Оновлені дані моніторингу вод у зоні надзвичайної ситуації через терористичний акт рф на Каховській ГЕС. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 20.06.2023: рубрика «Екологічний моніторинг». Інтернет-ресурс. URL: https://mepr.gov.ua/dilymosya-ostannimy-danymy-monitoryngu-vod-u-zoni-nadzvychajnoyi-sytuatsiyi-cherez-terorystychnyj-akt-rf-na-kahovskij-ges/ (Дата звернення: 26.06.2023)

40. Організації Міндовкілля продовжують моніторингові спостереження змін якості вод на Півдні України. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів від 23.06.2023: рубрика «Екологічний моніторинг». Інтернет-ресурс. URL: https://mepr.gov.ua/organizatsiyi-mindovkillya-prodovzhuyut-monitoryngovi-sposterezhennya-zmin-yakosti-vod-na-pivdni-ukrayiny/ (Дата звернення: 26.06.2023)
41. В Одесі море перетворилося на токсичну зелену рідину. Новини від 17.06.2023: медіаплатформа «ЕкоПолітика» (© Ecopolitic.com.ua). Інтернет-ресурс. URL: https://ecopolitic.com.ua/ua/news/v-odesi-more-peretvorilosya-na-toksichnu-zelenu-ridinu-foto/?fbclid=IwAR3AG2_clhJdFmycDlHkktPKE95IUTp2WFgO19B_UwbAAatSfvSpoLj1npw (Дата звернення: 26.06.2023)
42. На Одещині виявили ротавірус у пробах води. Новини від 13.06.2023: портал «TrueUA» (www.trueua.info). Інтернет-ресурс. URL: https://trueua.info/news/na-odetshini-viyavili-rotavirus-u-probah-vodi--kuzin (Дата звернення: 26.06.2023)
43. Ecodozor: Війна в Україні: екологічні наслідки та ризики: платформа для оцінки екологічних загроз від війни. URL: https://ecodozor.org/ (Дата звернення: 26.06.2023)
44. Vita Strokal (2021) Transboundary rivers of Ukraine: perspectives for sustainable development and clean water, Journal of Integrative Environmental Sciences, 18:1, 67-87, DOI: 10.1080/1943815X.2021.1930058: URL: https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1943815X.2021.1930058
45. Gleick, P. H., & Shimabuku, M. (2023). Water-related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology. Environmental Research Letters, 18(3), 034022. URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/acbb8f/meta
46. Glauben, T., Svanidze, M., Götz, L., Prehn, S., Jamali Jaghdani, T., Đurić, I., & Kuhn, L. (2022). The war in Ukraine, agricultural trade and risks to global food security. Intereconomics, 57(3), 157-163. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10272-022-1052-7
47. Бойко, В., & Бойко, Л. (2022). Продовольча безпека та ризики для аграрного виробництва під час війни в Україні. Економіка та суспільство, (41). URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-41-27
48. Родінова, Н., Дергач, А., & Гудзь, Г. (2022). Світова продовольча криза як наслідок російсько-української війни. Економіка та суспільство, (40). URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-25
49. Агакерімова, Р. (2023). Вплив війни в Україні на національну та глобальну продовольчу безпеку. Економіка та суспільство, (50). URL: http://www.economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/2415
50. Станом на 19 червня рівень води у Дніпрі на позначці «Херсон» повільно знижується на 0,5-1 см за годину. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 20.06.2023. URL: Інтернет-ресурс. https://mepr.gov.ua/stanom-na-19-chervnya-riven-vody-u-dnipri-na-poznachtsi-herson-povilno-znyzhuyetsya-na-0-5-1-sm-za-godynu/ (Дата звернення: 20.06.2023)
51. Щоденна гідрологічна ситуація: Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Інтернет-ресурс. URL: https://www.meteo.gov.ua/ua/Shchodenna-hidrolohichna-situaciya (Дата звернення: 17.06.2023, 19.06.2023, 26.06.2023)
52. Оперативна інформація станом на 26 червня. Новини Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 26.06.2023. URL: Інтернет-ресурс. https://mepr.gov.ua/stanom-na-19-chervnya-riven-vody-u-dnipri-na-poznachtsi-herson-povilno-znyzhuyetsya-na-0-5-1-sm-za-godynu/ (Дата звернення: 26.06.2023)
53. Через підрив Каховської ГЕС у водосховищі стрімко падає вода. Новини від 06.06.2023: Мультимедійна платформа іномовлення України «Укрінформ-ukrinform.ua». Інтернет-ресурс. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/3718768-cerez-pidriv-kahovskoi-ges-u-vodoshovisi-strimko-padae-voda.html (Дата звернення: 07.06.2023)
54. Оперативна інформація станом на 19 червня 2023 року. Новини від ПрАТ «Укргідроенерго» станом на 19.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/operativna-informaciya-stanom-na-19-chervnya (Дата звернення: 19.06.2023)
55. Оперативна інформація станом на 26 червня 2023 року. Новини від ПрАТ «Укргідроенерго» станом на 26.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/operativna-informaciya-stanom-na-26-chervnya (Дата звернення: 26.06.2023)
56. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. Інтернет-ресурс. URL: http://cgo-sreznevskyi.kyiv.ua/uk/ (Дата звернення: 11.06.2023, 20.06.2023)
57. Щонайменше $2 млрд прямих збитків завдано Україні через підрив Каховської ГЕС. Новини від Міністерства економіки України станом на 30.06.2023. Інтернет-ресурс. URL: https://www.me.gov.ua/News/Detail?lang=uk-UA&id=80cfdfcb-8ffb-453c-897d-cf28f575c646&title=ZbitkCherezPidrivKakhovskoiGes
58. Підрив Каховської ГЕС завдав Україні щонайменше $2 млрд прямих збитків – перші обрахунки KSE Institute. KSE – Kyiv School of Economics. Інтернет-ресурс. URL: https://kse.ua/ua/about-the-school/news/pidriv-kahovskoyi-ges-zavdav-ukrayini-shhonaymenshe-2-mlrd-pryamih-zbitkiv-pershi-obrahunki-kse-institute/

ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНИЙ ФОНД УКРАЇНИ

УДК 502.45+799.1
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.22

ЛЮБИТЕЛЬСЬКЕ РИБАЛЬСТВО ЯК НАПРЯМОК РОЗВИТКУ РЕКРЕАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ НИЖНЬОДНІСТРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ)

Бургаз О.А.,[1] Бургаз М.І.[1], Кротов С.А.[2]
[1]Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса
[2] Нижньодністровський національний природний парк
вул. Французький бульвар, 89, 65009, м. Одеса
alexburgaz84@gmail.com, marynaburhaz@gmail.com, dnisterpark@ukr.net

Природні ресурси України мають великий еколого-рекреаційний потенціал для розвитку екологічного туризму, поширення екологічних знань, зміцнення екологічної свідомості населення. Провадження та розвиток рекреаційної діяльності в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду України набуває все більшої актуальності. При цьому рекреаційна діяльність посилює антропогенний тиск на природні екосистеми. У зв'язку з цим, виникає потреба знаходження компромісних рішень між задоволенням рекреаційних потреб населення та збереженням ландшафтного і біологічного різноманіття. Одним з можливих напрямів вирішення цього завдання є розвиток любительського рибальства в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

У роботі вивчено можливість розвитку любительського рибальства в Нижньодністровському національному природному парку. Визначено, що пониззя Дністра, озерно-плавнева система і Дністровський лиман являють значну цінність в рибогосподарському відношенні і відрізняються високим видовим різноманіттям іхтіофауни. Це створює вигідні умови для розвитку любительського рибальства на території національного природного парку. Проаналізована динаміка відвідування національного природного парку рибалками-любителями. Окреслено правове поле розвитку любительського рибальства. Визначені умови та порядок ведення любительського рибальства в межах національного природного парку. Показано, що розвиток любительського рибальства створює вигідні передумови економічного розвитку регіону, сприятиме розширенню переліку рекреаційних послуг та практичному впровадженню засад сталого розвитку. Розвиток любительського рибальства на території Нижньодністровського національного природного парку, сприятиме розширення кола рекреантів, розвитку еколого-туристичної інфраструктури регіону, розробки та впровадженню екологічно безпечних технологій надання рекреаційних послуг, утилізації відходів. У комплексі з веденням просвітницької роботи, розвиток рекреаційної діяльності сприятиме вихованню свідомого дбайливого ставлення до природи, до її біологічного і ландшафтного різноманіття. Слід зазначити, що рекреаційна діяльність установ та об'єктів природно-заповідного фонду неможлива без обов'язкового та безперервного моніторингу екологічних, економічних та соціальних її сторін. *Ключові слова:* любительське рибальство, Нижньодністровський національний природний парк, рекреаційна діяльність.

Amateur fishing as a direction for the recreation activities development of the Ukraine nature and preserve fund objects (on the example of Lower Dnister National Nature Park). Burhaz O., Burhaz M., Krotov S.

The natural resources of Ukraine have great ecological and recreational potential for the development of ecological tourism, the spread of ecological knowledge, and the strengthening of the population ecological. The conduct and development of recreational activities within the territories and objects of the nature reserve fund of Ukraine is becoming more and more relevant. At the same time, recreational activities increase anthropogenic pressure on natural ecosystems. In this regard, there is a need to find compromise solutions between meeting the recreational needs of the population and preserving the landscape and biological diversity. One of the possible directions for solving this problem is the development of amateur fishing within the territories and objects of the nature reserve fund.

The paper examines the possibility of the amateur fishing development in the Lower Dnister National Natural Park. It was determined that the lower Dnister, the lake-fluvial system and the Dniester estuary are of significant value in terms of fisheries and are distinguished by a high species diversity of ichthyofauna. This creates favorable conditions for the amateur fishing development in the territory of the national nature park. The dynamics of visits to the national natural park by amateur fishermen were analyzed. The legal field for the amateur fishing development is outlined. The conditions and procedure for conducting amateur fishing within the boundaries of the national nature park are defined. It is shown that the development of amateur fishing creates favorable conditions for the region economic development, will contribute to the expansion of the recreational services list and the practical implementation of the sustainable development principles. The development of amateur fishing on the territory of the Lower Dnister National Nature Park will contribute to the expansion of the circle of recreationists, the development of the ecological and touristic infrastructure of the region, the development and implementation of environmentally safe technologies for the recreational services provision, waste

disposal. In a complex with educational work, the development of recreational activities will contribute to the education of a conscious and caring attitude to nature, to its biological and landscape diversity. It should be noted that the recreational activity of the nature reserve fund institutions and objects is impossible without mandatory and continuous monitoring of its ecological, economic and social aspects. *Key words:* amateur fishing, Lower Dnister National Nature Park, recreational activity.

Актуальність дослідження. Згідно Закону України «Про природно-заповідний фонд України» [1], національні природні парки є природоохоронними, рекреаційними, культурно-освітніми, науково-дослідними установами загальнодержавного значення, що створюються з метою збереження, відтворення і ефективного використання природних комплексів та об'єктів, які мають особливу природоохоронну, оздоровчу, історико-культурну, наукову, освітню та естетичну цінність.

Розвиток любительського рибальства в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України, сприяє суттєвому поліпшенню якості рекреаційних послуг. Це, в свою чергу, підвищує економічну привабливість регіону, забезпечує реалізацію прав громадян на якісний та доступний відпочинок, слугує усвідомленню необхідності невиснажливого та раціонального використання природних ресурсів. У комплексі з просвітницькою діяльністю дає можливість підвищити екологічну свідомість населення, допомагає активному поширенню ідей сталого розвитку як окремих територій, так і країни в цілому.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження можливостей розвитку любительського рибальства в Нижньодністровському національному природному парку (НПП), як одного з напрямів рекреаційної діяльності установ ПЗФ України.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувалось у відповідності з метою створення та завданнями Нижньодністровського національного природного парку. При проведенні дослідження використанням матеріалів Літописів природи НПП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню розвитку рекреаційної діяльності об'єктів та установ ПЗФ України присвячена значна кількість наукових праць. Серед них можна виділити праці [2-5]. В науковій літературі з даної теми, автори підкреслюють важливість розвитку рекреаційної діяльності, як потужного інструменту формування екологічної свідомості та обізнаності громадян України, збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, економічної та соціальної еволюції територій держави на засадах сталого розвитку.

Результати досліджень. В сфері використання природних ресурсів території (любительське рибальство та спеціальне використання водних біоресурсів), Нижньодністровський національний природний парк (далі – Парк) керується положеннями Конституції України [7], законами України «Про природно-заповідний фонд України» [1], «Про Червону книгу України» [8], наказом Комітету рибного господарства України N 19 від 15.02.99 «Про затвердження Правил любительського і спортивного рибальства» [9], «Про тваринний світ» [10], «Про рослинний світ» [11], Проектом організації території Нижньодністровського національного природного парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів (далі – Проект організації території), наказом Комітету рибного господарства України N 33 від 18.03.99 «Про затвердження Правил промислового рибальства в рибогосподарських водних об'єктах України» [12] а також Положенням про Нижньодністровський національний природний парк [13].

Згідно закону України «Про природно-заповідний фонд України» [7] та Положення про Нижньодністровський національний природний парк (далі – Положення) [13], спортивне та любительське рибальство дозволяється на територіях (акваторіях) Парку, що входять до господарської зони, зони регульованої та стаціонарної рекреації. Вищеозначені зони встановлені Проектом організації території.

Любительське рибальство, як елемент рекреації і туризму в НПП. Основними видами рекреаційної і туристичної діяльності на території Нижньодністровського НПП є: організація оздоровлення, відпочинку, екскурсійної діяльності, любительського рибальства, різних видів туризму: дитячого, молодіжного, сімейного, для осіб похилого віку, для осіб з інвалідністю, культурно-пізнавального, лікувально-оздоровчого, спортивного, релігійного, екологічного (зеленого), сільського, підводного, гірського, пригодницького, автомобільного, самодіяльного тощо.

Дослідження рекреаційних ресурсів передбачає оцінку інтенсивності їх рекреаційного використання, а тому важливо врахувати і рекреаційний потенціал природних систем. Його визначення необхідне для обґрунтування шляхів отримання максимального рекреаційного ефекту, при якому не будуть відбуватися негативні зміни стану ресурсів та втрата рекреаційних властивостей.

Розвиток туризму і рекреації супроводжується створенням інфраструктури, розробкою туристських маршрутів, освоєнням нових зон відпочинку, формуванням специфічного туристичного продукту. Цей поступальний розвиток потребує розробки спеціальної стратегії територіального розвитку, механізмом здійснення якого має бути процедура ландшафтного планування.

Рекреаційна діяльність на території НПП здійснюється його спеціальними підрозділами, а також

іншими підприємствами, організаціями, установами фізичними особами – суб'єктами підприємницької діяльності на підставі угод з адміністрацією НПП відповідно до законодавства в зонах регульованої та стаціонарної рекреації.

На сьогодні, все більше зростає популярність любительського (рекреаційного) рибальства, в'їзного риболовного туризму та водних видів відпочинку. Любительське рибальство – потужний фактор впливу на природне середовище та водні біоресурси, значний чинник фізичного оздоровлення мільйонів людей [14].

Згідно з статистичними даними Нижньодністровського НПП встановлено, що за період з 2018 р. по 2022 р. НПП відвідало 33800 рибалок-любителів (рис. 1).

Так, основна кількість припадає на 2020 р., а у 2021 р. та 2022 р. відмічається зменшення чисельності рибалок-любителів, що пов'язано з впливом пандемії COVID-19 та військових дій на території України.

До основних видів, що виловлюють рибалки-любителі на території Нижньодністровського НПП відносяться: короп, карась – 85%, інші види (амур білий, лин, лящ, сом, судак, товстолобик та інші) – 15%.

В Україні налічується понад 220 видів риб (із них прісноводних близько 70), а об'єктами любительського рибальства є близько 83 видів. 22% населення України (близько 10 млн.) являються рибалками-любителями та спортсменами [14].

Чинною нормативно-правовою базою любительське та спортивне рибальство в межах об'єктів природно-заповідного фонду не регулюється. Вимоги Порядку здійснення любительського і спортивного рибальства, затвердженого постановою Кабміну України Про затвердження порядку здійснення любительського і спортивного рибальства від 18 липня 1998 р. № 1226 [15], та наказу Державного комітету рибного господарства України Про затвердження Правил любительського і спортивного рибальства та Інструкції про порядок обчислення та винесення платежів за спеціальне використання водних біоресурсів при здійсненні любительського і спортивного рибальства [9] не розповсюджуються на водойми, які знаходяться у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

На території Нижньодністровського НПП любительське та спортивне рибальства здійснюється відповідно до пунктів 4.7, 4.8.1–4.8.6 Положення Про Нижньодністровський національний природний парк. Ці види рибальства дозволяються у зонах регульованої рекреації, стаціонарної рекреації та господарській зоні лише на спеціально відведених його адміністрацією ділянках, які маркуються відповідними аншлагами.

Згідно до Положення, на території Нижньодністровського НПП, дозволяється вилов наступних видів риб: амура білого, білизни, вугря, в'язя, карася сріблястого, сазана (коропа), лина, ляща, рибця, сома, судака, тарані, товстолобиків білого та строкатого, плітки, щуки, а також рака вузькопалого.

Територія має значний потенціал для розвитку любительського та спортивного рибальства. У 2018 році Нижньодністровський НПП за даними статистичних спостережень відвідали більше 5700 рибалок-любителів [16].

У 2019 році, у період державної заборони на лов водних біоресурсів, установленої управлінням Державного агентства рибного господарства України у зв'язку з нерестом, на території Нижньодністровського НПП було виділено ділянки для любительського лову на р. Глибокому Турунчуку

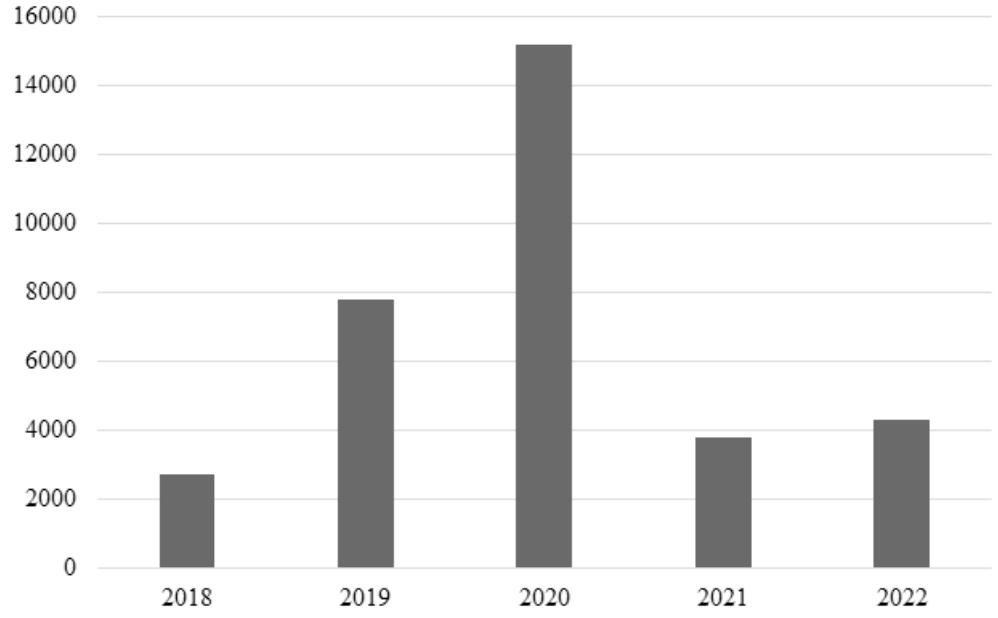


Рис. 1. Кількість рибалок- любителів, що відвідали Нижньодністровський НПП за період 2018-2022 рр.

(100 осіб на день), Стоячому Турунчуку (20 осіб на день) та оз. Погоріле (20 осіб на день) [16].

Слід зазначити, що видовий склад риби, яка добувається аматорами (любителями) та промисловиками, значно відрізняється. Так, в уловах любителів значне місце (до 60-70%) займають малоцінні та тугорослі види, вилов яких економічно збитковий і промислом вони практично не охоплюються. Наприклад, краснопірка, окунь, плоскирка в аматорських уловах зустрічаються набагато частіше ніж в промислових.

Порівняно з європейськими країнами законодавство України відносно спортивного та любительського рибальства є набагато м'якшим, що обумовлює чудові можливості для в'їзного рибальського туризму. Любительське рибальство може стати дуже прибутковою галуззю економіки країни, якщо встановити законодавче регулювання правил і методів лову та покращити інфраструктуру для комфортного відпочинку українців та іноземців.

Порядок любительського рибальства в межах Нижньодністровського НПП. Здійснення любительського рибальства в межах території Нижньодністровського НПП можливе в зонах регульованої рекреації, стаціонарної рекреації та господарській зоні лише на спеціально відведених адміністрацію Парку ділянках, які маркуються відповідними аншлагами.

Любительський лов риби дозволяється всім громадянам України, іноземцям, а також особам без громадянства, які законно перебувають на території Парку.

Водойми та умови використання водних біоресурсів для любительського рибальства визначаються адміністрацією Парку.

Любительський лов риби дозволяється з берега або з човна поплавковими, донними, спінінговими та нахлистовими вудками, що мають загальну кількість гачків не більше п'яти на одного рибалку та лов не заборонений в темний час доби. Любительський лов риби в зимовий період (з льоду) дозволяється зимовими вудками з блешнею, обладнаною одинарним гачком у якого відстань від цівки до жала не перевищує 10 мм, мормишкою, наживною та живцевою снастями, що мають загальну кількість гачків не більше п'яти на одного рибалку. Дозволяється вилов раків збиранням або однією раколовкою типа «хапка» діаметром не більше 70 см і вічком сіткового полотна не менше 22 мм.

Добовий ліміт добування водних біоресурсів становить з розрахунку на одного рибалку: риба – 3 кг; раки – 30 шт., окрім випадків коли розмір однієї риби перевищує 3 кг. Дозволено добування будь-яких видів риб і річкових раків, розмір яких перевищує встановлені мінімальні розміри (рис. 2), за винятком видів, занесених до Червоної книги України.

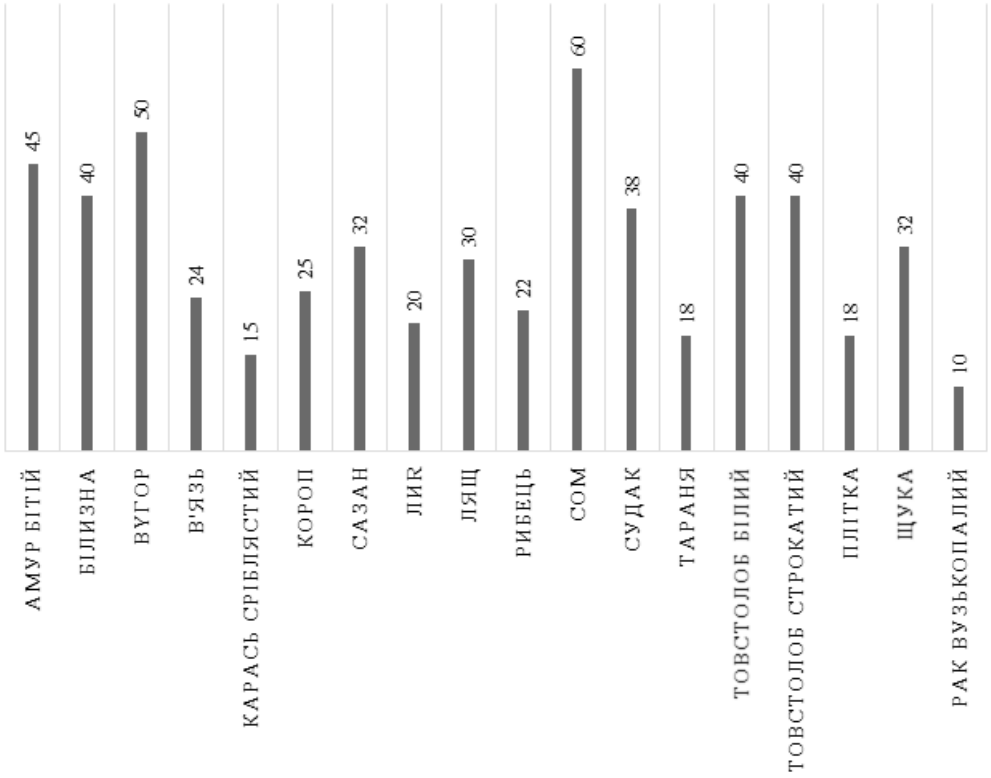


Рис. 2. Види та гранично-мінімальні розміри (см) риб та раків, які дозволені до вилову на території Парку (Примітка: Довжина вимірюються: у риби – від кінчика рила при закритому роті до початку середніх променів хвостового плавця; у рака – від середини ока до кінця центральної пластини тельсону (анальної лопаті))

Вивезення з водойми риби та раків як у свіжому, так і в обробленому стані, незалежно від терміну перебування на водоймі, дозволяється в кількості, що не перевищує добову норму, за винятком випадків, коли розмір однієї риби перевищує 3 кг.

Під час любительського рибальства в межах Нижньодністровського НПП забороняється:

а) добування риб та інших гідробіонтів, які заборонені до вилову діючими нормативно-правовими актами;

б) добування риб та інших гідробіонтів із застосуванням вибухових і отруйних речовин, електроструму, колючих знарядь лову, вогнепальної та пневматичної зброї, промислових та інших знарядь лову, виготовлених із сіткоснастевих чи інших матеріалів усіх видів і найменувань (за винятком раколовок типу «хапка» з діаметром не більше 70 см і вічком не менше 22 мм), а також способом багріння;

в) добування раків у нерестовий період (у період спарювання), під час линьки і виношування ікри, а також у темну пору доби (пізніше години від заходу сонця та раніше години до його сходу) із застосуванням підсвічування;

г) добування водних молюсків та інших безхребетних (мотиль, гамарус, дафнія, циклоп, черв'яки, п'явки личинки комах та ін.), крім річкових раків.

На акваторії Парку поширюється весняно-літня заборона на лов водних біоресурсів на період нересту риби і відтворення інших водних біоресурсів, а також заборона на лов водних біоресурсів на зимувальних ямах у строки, визначені територіальними органами Державного агентства рибного господарства України.

У межах території Нижньодністровського НПП пересування плавзасобів можливе тільки після узгодження з адміністрацією НПП.

У разі погіршення екологічного стану водного об'єкта, проведення робіт з штучного відтворення ВБР, необхідності запровадження посиленої охорони певних їх видів любительське рибальство може бути обмежене або заборонене адміністрацією НПП.

Суттєвим інструментом регулювання любительського рибальства на території НПП є його всебічний моніторинг.

Моніторинг довкілля здійснюється на виконання статей 22 і 61 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [17], статті 9 Закону «Про природно-заповідний фонд України» [1] та у відповідності до Положення про наукову та науково-технічну діяльність природних і біосферних заповідників та національних природних парків (затв. наказом Міністерства екології та природних ресурсів України від 29.10.2015 № 414) [18] і на виконання Програми Літопису природи, що затверджена спільним наказом Міністерства екології та природних ресурсів України та Національною академією наук України від 25.11.2002 р. № 465/430 [19].

Моніторинг дозволяє здійснити порівняння заданих і фактичних даних, що стосуються планування певних заходів та їх реалізації. Шляхом оцінки проводиться порівняння між заданими плановими показниками і фактичними показниками. Моніторинг служить рішенню таких завдань: своєчасне виявлення проблем; відображення здійснених операцій, витрат і використаних ресурсів; розпізнавання можливостей подальшого поліпшення роботи; оцінка якості управління завданнями; економія витрат; прискорення появи необхідних результатів; визначення помилок і аналіз їх причин; забезпечення заінтересованих сторін інформацією про хід виконання завдань.

Висновки. Згідно Положення про Нижньодністровський національний природний парк, метою створення НПП є збереження, відтворення і раціональне використання типових та унікальних природних комплексів пониззя Дністра. До його основних завдань відноситься створення умов для рекреаційної діяльності в природних умовах з додержанням режиму охорони заповідних комплексів та об'єктів.

Пониззя Дністра, озерно-плавнева система і Дністровський лиман являють значну цінність в рибогосподарському відношенні і відрізняються високим видовим різноманіттям іхтіофауни. Це створює вигідні умови для розвитку любительського рибальства на території НПП.

Розвиток любительського рибальства на території Парку дозволить розширити перелік рекреаційних послуг, створити вигідні умови економічного розвитку регіону розташування НПП, спонукатиме покращенню екологічної свідомості та обізнаності громадян.

Перспективи використання результатів дослідження. На нашу думку, розвиток любительського рибальства, на тлі росту популярності цього виду відпочинку, матиме низку сприятливих наслідків:

- розширення кола рекреантів на території НПП;
- розвитку еколого-туристичної інфраструктури регіону;
- залучення додаткових коштів до Парку, що дозволить покращити виконання покладених на нього завдань;
- розробки та впровадження екологічно безпечних технологій надання рекреаційних послуг, утилізації відходів;
- впровадження обов'язкового та безперервного моніторингу екологічних, економічних та соціальних сторін рекреаційної діяльності на території НПП та регіону його розташування;
- у комплексі з веденням просвітницької діяльності, виховання свідомого дбайливого ставлення до природи, до її біологічного і ландшафтного різноманіття;
- спонукатиме місцеве населення й органи самоврядування до проведення різноманітних заходів, що представлятимуть побут, звичаї населення Одеського регіону;

– визначення шляхів взаємовигідних (в усіх аспектах) відносин між установами ПЗФ та користувачами природних ресурсів.

Усе вищеозначене, дозволить збільшити конкурентоспроможність і рентабельність туристичної галузі регіону, сприятиме підвищенню життєвого рівня місцевого населення, практичному впровадженню засад сталого розвитку, створенню позитивного досвіду взаємовідносин між населенням та екологічними особливостями регіону.

Література

1. Про природно-заповідний фонд України: Закон України від 16 червня 1992 № 2456-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2456-12#Text.
2. Гетьман В.І. Основні Завдання і проблеми розвитку екотуризму в національних природних парках і біосферних заповідниках України. *Краєзнавство. Географія. Туризм.* 2002. № 35. С. 4-8.
3. Савка Г.С. Стан та перспективи рекреаційної діяльності на природоохоронних територіях українського Розточчя. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2010. Вип. 20.16. С. 86-91.
4. Воробйова О.А. Природно-заповідні території в складі екологічної інфраструктури: роль, функції, вектори розвитку. *Економічні інновації.* 2012. Вип. 48. С. 55-67.
5. Добровольська Н.В., Кандиба Ю.І. Передумови розвитку екологічного туризму в Україні на основі використання об'єктів природно-заповідного фонду. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки*. 2016. Вип. 4. С. 106-111.
6. Рибак М.П., Лук'янова В.В., Покиньчереда В.Ф., Йонаш І.Д. Еколого-рекреаційна діяльність Карпатського біосферного заповідника як складник сталого розвитку. *Екологічні науки.* 2019. № 3(26). С. 88-92.
7. Конституція України: Закон від 28 Червня 1996 № 254к/96-ВР URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96%D0%B2%D1%80#Text.
8. Про Червону книгу України: Закон України від 7 лютого 2002 № 3055-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/3055-14#Text.
9. Про затвердження Правил любительського і спортивного рибальства та Інструкції про порядок обчислення та внесення платежів за спеціальне використання водних біоресурсів при здійсненні любительського і спортивного рибальства: Наказ Комітету рибного господарства України від 15 лютого 1999 N 19 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0269-99#Text.
10. Про тваринний світ: Закон України від 13 грудня 2001 № 2894-III URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2894-14#Text.
11. Про рослинний світ: Закон України від 9 квітня 1999 № 591-XIV URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/591-14#Text.
12. Про затвердження Правил промислового рибальства в рибогосподарських водних об'єктах України: Наказ Комітету рибного господарства України від 18 березня 1999 N 33 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0326-99#Text
13. Про затвердження Положення про Нижньодністровський національний природний парк: Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 31 серпня 2020 № 114. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Polozhennya-Nyzhnodnistrovskyj.pdf.
14. Сербов М. Г. Наукове підгрунтя розвитку рекреаційного рибальства у водоймах України. *Водні біоресурси та аквакультура.* 2012. № 2. С. 49-64.
15. Про затвердження Порядку здійснення любительського і спортивного рибальства: Постанова Кабінету Міністрів України від 18 липня 1998 р. N 1126. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1126-98-%D0%BF#Text.
16. Звіт з науково-дослідної роботи «Літопис природи. Книга 10», Нижньодністровський НПП, 2019 р.
17. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text.
18. Про затвердження Положення про наукову та науково-технічну діяльність природних і біосферних заповідників та національних природних парків: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 29 жовтня 2015 № 414. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1444-15#Text.
19. Про затвердження Програми Літопису природи: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України та Національної академії наук України від 25 листопада 2002 р. № 465/430. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v465_737-02#Text.

УДК 504.05:504.06
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.23

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю.
Ужгородський національний університет
вул. Волошина, 32, 88000, м. Ужгород
gafiakolga@gmail.com, lyudmilassem@gmail.com

У сучасних умовах однією з найбільш поширених екологічних проблем в Карпатському регіоні є поява значної кількості несанкціонованих сміттєзвалищ, та не достатнє вивчення їх негативного впливу на природні екосистеми. Дослідження таких локальних сміттєзвалищ показали, що значна їх частина зосередженні в межах лісових екосистем, неподалік водних об'єктів. Стічні води звалищ токсичні і забруднюють ґрунтові води та ріки. Відбувається забруднення атмосфери газоподібними речовинами, що утворюються при розкладанні звалених матеріалів. Шкідливі речовини всмоктуються кореневою системою рослин. В забруднених ділянках спостерігаються зміни в фітоценозах, а саме поява інвазивних видів рослин та бур'янів. Трансформовані екосистеми характеризуються високим рівнем фітотоксичності ґрунтів. Існує також проблема забруднення природних екосистем лікарськими препаратами, зокрема антибіотиками. Аналіз сучасного стану досліджень біоіндикаційними методами засвідчує, що забруднення вкрай негативно впливає на всі компоненти екосистеми, зокрема на функціонування мікробіому ґрунту, під час розкладання відходів виділяються токсичні сполуки, звалища стають місцем існування та розмноження патогенних мікроорганізмів. Динаміка змін в мікробоценозі ґрунтів засвідчує поширення антибіотикорезистентних мікроорганізмів. Сучасний підхід до оцінювання якості об'єктів навколишнього природного середовища має бути заснований на принципі збалансованого функціонування екосистеми і враховувати взаємозв'язок компонентів біоценозу та їхню взаємодію з ґрунтовим і водним середовищем. Діагностика та оцінювання екологічного стану ґрунту є невід'ємною складовою під час проведення комплексних досліджень стану об'єктів навколишнього природного середовища. Ґрунт як середовище існування живих організмів, містить дуже складні біоценози, що зумовлює протікання складних процесів на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівнях внутрішньо- і міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди можливо передбачити реакцію біоти на забруднення. На основі аналізу літературних джерел у статті наведена сучасна інформація щодо впливу різних типів забруднення на природні екосистеми та їх негативних наслідків. *Ключові слова:* ґрунт, біоіндикація, мікроорганізми, фітотоксичність, флора, антибіотикорезистентність, екологічна безпека, забруднення.

Environmental assessment of transformed ecosystems in the Carpathian region. Hafiiak O., Symochko L.
In modern conditions, one of the most widespread environmental problems in the Carpathian region is the appearance of a significant number of unauthorized landfills, and insufficient study of their negative impact on natural ecosystems. Studies of such local landfills have shown that a significant part of them is concentrated within forest ecosystems, not far from water bodies. Wastewater from landfills is toxic and pollutes groundwater and rivers. The atmosphere is polluted with gaseous substances formed during the decomposition of dumped materials. Harmful substances are absorbed by the root system of plants. In polluted areas, changes in phytocenoses are observed, namely the appearance of invasive species of plants and weeds. Transformed ecosystems are characterized by a high level of soil phytotoxicity. The problem of contamination of natural ecosystems with drugs, in particular antibiotics, has been identified. Analysis of the current state of research using bioindicative methods proves that contamination has an extremely negative effect on all components of the ecosystem, in particular on the functioning of the soil microbiome, during the decomposition of waste, toxic compounds are released, landfills become a place for the existence and reproduction of pathogenic microorganisms. The dynamics of changes in soil microbocenosis testifies to the spread of antibiotic-resistant microorganisms. The modern approach to assessing the quality of environmental objects should be based on the principle of balanced functioning of the ecosystem and take into account the interrelationship of the components of the biocenosis and their interaction with the soil and water environment. Diagnostics and assessment of the ecological state of the soil is an integral part of conducting complex studies of the state of environmental objects. The soil, as a habitat for living organisms, contains very complex biocenoses, which causes complex processes to occur at the biophysical, biochemical levels, and at the levels of intra- and inter-population interaction. Therefore, it is not always possible to predict the reaction of a biotic component to pollution. Based on the analysis of literary sources, the article provides current information on the impact of various types of pollution on natural ecosystems and their negative consequences. *Key words:* soil, bioindication, microorganisms, phytotoxicity, flora, antibiotic resistance, environmental safety, contamination.

Постановка проблеми. Пришвидшення технічного прогресу нині призводить до значного поширення забруднення довкілля, що наразі сягнуло глобальних масштабів. Все це зумовлює посилення актуальності вивчення даної проблеми. Одним з найважливіших питань розвитку сучасної держави є сформований комплекс заходів з вирішення екологічних проблем, що спрямований на забезпечення соціально-економічного розвитку країни. Щоразу вимоги до якісних характеристик навколишнього природного середовища, на тлі постійного антропогенного навантаження, зумовлюють необхідність здійснення відповідних наукових досліджень, дискусій та законодавчого закріплення екосистемного підходу.

Актуальність дослідження. Через гірський рельєф, високу щільність населення, сусідство з 4 країнами Євросоюзу, єдиний водний басейн

р. Тиса, заповідність території, ряд населених пунктів області позбавлені можливості вибору земельних ділянок під сміттєзвалища. Це стосується міст Рахів, Тячів, та майже всіх сільських населених пунктів гірських районів [1]. Внаслідок цього кількість та площі несанкціонованих сміттєзвалищ систематично зростають, спричиняючи негативний вплив на лісові екосистеми та їх складові, екологічний стан ґрунтів і водних об'єктів, що становить загрозу для здоров'я людини та навколишнього природного середовища, а саме відбуваються незворотні процеси деградації природних екосистем [2–6].

Варто зазначити, що несанкціоновані сміттєзвалища значною мірою визначають санітарно-епідеміологічне благополуччя населених пунктів, тому потребують особливої уваги. Забруднення ґрунту тісно пов'язане із забрудненням ґрунтових і поверхневих вод, у тому числі тих, що використовуються для питних потреб. Діагностика та оцінка екологічного стану ґрунту є складовою частиною комплексного дослідження стану довкілля [7]. Сучасний підхід до оцінки екологічного стану довкілля базується на принципі збалансованості функціонування екосистем і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та їх взаємодію з ґрунтовим середовищем, оскільки перебудова функціональної структури ґрунтового мікробіому внаслідок впливу екзогенних факторів зумовлює зміну спрямованості мікробіологічних процесів [8, 9].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувались у межах науково-дослідних тематик: «Еколого-мікробологічний моніторинг різних типів екосистем Карпатського регіону», НДР№ 0116U003331, (2015–2018); «Біомоніторинг наземних і водних екосистем в умовах змін клімату» НДР № 0119U102623, (2020–2023).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стратегією сталого розвитку природи і суспільства, яка закріплена у Конвенції про охорону біологічного різноманіття (Ріо-деЖанейро, 1992), а також визначена у Всеєвропейській стратегії збереження біологічного та ландшафтного різноманіття та на Конференції зі сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002) і, задля її досягнення, передбачається створення Пан'європейської екологічної мережі, яка у свою чергу, має заповнюватися на національному, регіональному та локальному рівнях [10]. Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат визначено низку пріоритетних завдань у забезпеченні збереження та відновлення унікальних природних комплексів Карпат, зокрема збереження та стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття, запобігання негативному впливу на гірські екосистеми тощо [11, 12]. Проте, серед поширених екологічних проблем в Карпатському регіоні є поява значної кількості несанкціонованих сміттєзвалищ, які є джерелом найрізноманітніших шкідливих речовин. Ці речовини всмоктуються кореневою системою рослин, що може вплинути негативно на якість ягід чи плодів. Виникнення несприятливих умов для функціонування місцевої флори призводить до її поступової трансформації, що сприяє появі інвазійних видів та поширенню бур'янів [12]. Новоутворені сміттєзвалища негативно впливають на лісові екосистеми та їх складові, особливо небезпечним є порушення санітарного стану ґрунтів і водних об'єктів, що становить загрозу не тільки для довкілля, але й для здоров'я населення. В процесі розкладу відходів, виділяються токсичні сполуки, що негативно впливають на всі живі організми. Сміття та прилеглий ґрунт стають середовищем існування та розмноження патогенних мікроорганізмів [12, 13].

Дослідження Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Патика В.П. показали, що зміни у структурі мікробного угруповання ґрунту і перерозподіл основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів можуть відбуваютися в результаті забруднення. Зокрема виявлено підвищений вміст оліготрофних мікроорганізмів та мікроміцетів у забруднених ґрунтах трансформованих екосистем [14, 15]. Раніше вивчаючи мікробні ценози в ґрунті впродовж багатьох років Звягінцев Д.Г. (1978, 1987, 1999), Іутинська Г.О. (1993, 1998, 2006), Хазієв Ф.Х. (2005, 2011), Nannipieri P. (2003, 2017), Scow K. (2009, 2014) Патика В.П. (2002, 2015, 2016), Симочко Л.Ю. (2015, 2018, 2021) у своїх працях зазначають, що не лише забруднення, але і зміни клімату також можуть змінювати структуру та метаболічну активність ґрунтових мікроорганізмів, їх стійкість до дії екологічних чинників, що може негативно позначитися на органічній речовині ґрунту, призвести до активізації процесів її деструкції в умовах змін клімату та антропогенного навантаження [16, 17, 18]. Дослідження Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. доповнюють сучасні уявлення про стан та активність мікробіоценозу різних типів ґрунту залежно від впливу абіотичних і антропогенних чинників. Отримані дані служать основою для створення відповідної бази даних та розроблення єдиних уніфікованих критеріїв оцінювання екологічного стану ґрунту агроекосистем та природних екосистем в умовах зміни клімату. Оскільки склад мікробоценозу ґрунтів достатньо лабільний, змінюється не тільки за географічною зональністю, а й залежно від пори року, наявних гідротермічних умов, глибини відбору зразків ґрунту, характеру рослинності, ступеня використання ґрунтів у сільському господарстві, зрошення, внесення мінеральних і органічних добрив, інших факторів. Значний вплив на формування мікробоценозу справляє рослинний покрив. Ця дія проявляється залежно від ступеня розвитку кореневої системи та кількості опаду. Саме ці фактори відіграють вирішальну роль у формуванні функціональної структури мікробоценозу, яку розглядають як сукупність зв'язків між мікро-

організмами, що здійснюють різні функції у біогеоценозі, а також між ними та навколишніми біотичними й абіотичними факторами [9, 12, 19, 20, 21]. Патика В.П. доводить, що бактерії змінюють ґрунтове середовище таким чином, що воно стає більш сприятливим для проростання одних і менш сприятливим для розвитку інших культур. Коли формуються рослинні угруповання, до ґрунту надходять різні типи органічних речовин і змінюються види поживних елементів, доступні бактеріям. Змінена спільнота бактерій своєю чергою змінює структуру ґрунту і середовище для проростання рослин. Деякі дослідники вважають, що є можливість контролювати на окремій ділянці популяції видів рослин, керуючи спільнотою ґрунтових бактерій [22, 25].

Крім позитивних взаємовідносин, між бактеріями та рослинами можуть виникати й негативні. Бактерії, що паразитують на рослинах, називають фітопатогенами. Види фітопатогенних бактерій є серед аеробних та факультативно-аеробних грамнегативних паличок (Pseudomonas, Xanthamonas, Erwinia, Agrobacterium та ін.), а також серед грампозитивних корінеформних бактерій і мікоплазм. Як і патогени тварин, патогени рослин мають фактори патогенності, що дозволяють їм перемагати захисні бар'єри рослин [27, 28].

Небезпечними для довкілля є і несанкціоновані сміттєзвалища в природніх екосистемах. Дослідження мікробіологічного стану ґрунтів сміттєзвалищ показало зміни у структурі мікробного угруповання ґрунту і перерозподілу основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Зокрема виявлено підвищений вміст оліготрофної і педотрофної мікробіоти [29, 30].

Також виявлено високу чисельність бактерій, що використовують азот мінеральних сполук та зниження чисельності стрептоміцетів і азотфіксувальних мікроорганізмів порівняно з ґрунтом природної екосистеми. Встановлено, що в ґрунті сміттєзвалищ зростала чисельність педотофних і оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, які асимілюють органічні форми азоту, у середньому в 2,70, 2,84 і 1,48 раза, що відповідно вплинуло на спрямування перебігу основних мікробіологічних процесів. За наявності органічних відходів (наприклад, рештки продуктів харчування) зростав коефіцієнт мінералізації іммобілізації (Км–і) на 12,4–27,1%, завдяки активному розмноженню мікроорганізмів, які засвоюють мінеральні форми біогенних елементів та виконують іммобілізаційну функцію мікробного ценозу [30, 33, 35].

Отже, відбуваються зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій і мікроміцетів, зменшення корисних азотфіксувальних мікроорганізмів. При цьому зростає напруженість процесів мінералізації, іммобілізації, оліготрофності та розкладання органічної речовини ґрунту, та впливає на рівень фітотоксичності ґрунту [29, 30].

Тривале складування різноманітних побутових відходів, які піддаються процесам гниття, бродіння, розкладу та випаровування під впливом атмосферних явищ дуже небезпечне для довкілля. Забруднення негативно впливає на всі складові екосистеми, зокрема на функціонування ґрунтового мікробіому, оскільки під час розкладу відходів виділяються токсичні сполуки, звалища стають середовищем існування та розмноження багатьох патогенних мікроорганізмів. Зокрема, фітотоксичними властивостями володіють бактерії роду Bacillus та Bacterium. Більшість ґрунтових мікроміцетів також здатні продукувати фітотоксини: Aspergillus fumigatus продукує гельфолієву кислоту, мікроміцети роду Penicillium – па тулін, Trichoderma – віридин [29, 34]. Крім того, токсичні сполуки, які продукують ґрунтові мікроорганізми, можуть впливати на рослинні клітини, їх хімічний склад, перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, що може призвести до трансформації флори в природних екосистемах. Будь-яке антропогенне втручання в екосистеми віддзеркалюється на ґрунтовому середовищі – порушується структура ґрунту, його фізичні, хімічні і біологічні властивості. Забруднення ґрунтів також тісно пов'язано із забрудненням підземних і поверхневих вод, у т.ч. і тих, які використовують для господарсько-питних потреб [29, 30].

Сучасний підхід до оцінювання якості об'єктів навколишнього природного середовища заснований на принципі «збалансованого функціонування» екосистеми і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та їхню взаємодію з ґрунтовим середовищем. Діагностика та оцінювання екологічного стану ґрунту є невід'ємною складовою під час проведення комплексних досліджень стану об'єктів навколишнього природного середовища. Ґрунт як середовище існування живих організмів, містить дуже складні біоценози, що зумовлює протікання складних процесів на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівнях внутрішньо- і міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди видається можливим передбачити реакцію біотичного складника на забруднення. Як зазначає академік НААН В. Патика, перспективними інтегральними методами дослідження стану навколишнього природного середовища є методи біотестування та біоіндикації, що ґрунтуються на зворотній реакції живих організмів на негативний вплив забруднюючих речовин, саме вони здатні надати достовірну інформацію про якість компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів. Методи біотестування дають змогу в доволі короткі терміни отримати інтегральну оцінку токсичності ґрунтів, що доцільно застосувати під час моніторингових досліджень [19, 20, 29, 30].

Забруднення ґрунту прямо пов'язано з забрудненням води. Вчені зазначають, що якість води визнача-

ється, перш за все, загальною кількістю виявлених у ній мікроорганізмів [30].

Таким чином, мікроорганізми – важлива функціональна складова біогеоценозів біосфери. Це первинна ланка в утворенні всіх системних зв'язків у біосфері. Мікроорганізми замикають біологічний кругообіг, розкладаючи органічні рештки, створюючи умови для живлення наземних і водних екосистем, обумовлюють утворення природної кормової бази для багатьох гетеротрофів, беруть участь у формуванні донних відкладень, створенні біологічного контролю над розвитком біокомпонентів екосистеми, збалансовують, урівнюють можливості для існування всіх організмів у довкіллі. Важливим аспектом є вивчення впливу забруднення водойм на мікробіом ґрунту прилеглих територій, видовий склад фітоценозів та визначення рівня трансформації екосистем [12, 16, 31].

Серйозну небезпеку для довкілля становить і забруднення стічними водами. За даними Асоціації «Health Care Without Harm» в середньому очисні споруди видаляють тільки близько 80 відсотків фармацевтичних речовин та їх залишків. Навіть використання найсучасніших методів очищення не дозволяє повністю запобігти забрудненню: у очищеній стічній воді залишається до 10 відсотків препаратів. Установлено, що активний мул очисних споруд може акумулювати токсичні речовини, у тому числі, антибіотики. Тому важливим завданням є усунення впливу залишків стійких фармацевтичних препаратів антибіотиків на довкілля шляхом їх знешкодження (інактивації), а враховуючи відсутність очисних споруд, важливо дослідити ступінь забруднення та спланувати комплекс заходів, які допоможуть зменшити негативний їх вплив на природні екосистеми [18].

Всесвітня організація охорони здоров'я випустила нові керівні принципи щодо використання медично важливих антимікробних препаратів для тварин, рекомендуючи фермерам та харчовій промисловості припиняти регулярне використання антибіотиків для сприяння росту та запобігання захворювань здорових тварин, що в свою чергу допоможе зберегти ефективність антибіотиків, важливих для людської медицини, зменшуючи їхнє використання для тварин. У деяких країнах приблизно 80% від загального споживання медично важливих антибіотиків припадає на тваринницький сектор, в основному для сприяння росту здорових тварин [12, 18, 19].

Надмірне використання антибіотиків у тваринництві призводить до того, що бактерії мутують і пристосовуються – антибіотики перестають діяти. Резистентність або стійкість до антимікробних препаратів вважається серйозною загрозою для людей та тварин у майбутньому, а зростаючий рівень стійких бактерій може збільшити кількість інфекційних захворювань. Регулярне вживання антибіотиків, які присутні у м'ясі птиці, свинини, яловичини, індички та риби, сприяє виникненню антибіотикорезистентності (стійкості до ліків), а також може стати причиною зниження імунітету, порушення обміну речовин, алергічних реакцій, появи набряків, дерматиту, дисбактеріозу. Майбутнє без ефективних антибіотиків суттєво змінить якість життя сучасної людини. За даними досліджень 700 000 людей у всьому світі помирають від бактеріальних інфекцій щороку, оскільки антибіотики вже не ефективні. Якщо не вживати рішучих дій, щорічна глобальна смертність від стійких до антибіотиків інфекцій сягатиме 10 мільйонів осіб до 2051 року. Оцінка екологічного ризику для природних екосистем і здоров'я населення від впливу забруднення ґрунту та води внаслідок несанкціонованих сміттєзвалищ, є актуальною та потребує більш глибокого аналізу [9, 18, 19].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Навіть найменші сміттєзвалища зведені без комплексу заходів, що знижують їх негативний вплив на навколишнє середовище, в природних екосистемах, є значним джерелом забруднення. Відходи, що там розміщені, зазнають складних фізико-хімічних та біохімічних змін під впливом атмосферних явищ, специфічних умов, що формуються у товщі відходів, а також в результаті взаємодії між собою. Це призводить до утворення різних сполук, в тому числі токсичних, які, мігруючи до навколишнього середовища, негативно впливають на всі його компоненти. Важливо дослідити рівень екологічної безпеки трансформованих екосистем користуючись сучасними, комплексними методами дослідження стану навколишнього середовища.

Новизна. В роботі наведено результати власних досліджень, а також проведено збір та аналіз даних з літературних джерел, щодо питання впливу на природні екосистеми різного роду забруднення, спричиненого появою несанкціонованих сміттєзвалищ. Спостерігається їх негативний вплив на мікробіоту ґрунту і води. Встановлено зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій та мікроміцетів і зменшенням корисних азотфіксувальних мікроорганізмів, поява та поширення стійких до антибіотиків мікроорганізмів. В досліджуваних ділянках також спостерігається поширення інвазійних видів рослин.

Викладення основного матеріалу. Втрата біорізноманіття в усьому світі відбувається швидкими темпами і з минулого століття це питання все частіше постає не тільки як констатація факту і його підтвердження, але також розробляються різні підходи, інструменти і методи його вирішення, як у наукових працях, так і у багатьох політичних рішеннях. Господарська діяльність людини протягом тисячоліть впливає на природу і ландшафт, руйнуючи і змінюючи його, але саме в XX столітті, особливо на рубежі третього тисячоліття,

антропогенна дія різко зросла. Практично усі зміни рослинності, що відбуваються в сучасний період, носять синантропний характер. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. зазначають, що сьогодні процес синантропізації набув масштабу, коли є усі підстави говорити про антропогенну еволюцію екосистем. Синантропізація є одним із найбільш чітко виражених наслідків впливу людського фактору на природну флору взагалі та на регіональну зокрема. Внаслідок синантропізації відбувається поступова деаборигенізація місцевої флори й втрата нею своїх специфічних особливостей [12, 13, 31].

Серед адвентивних видів виділяють групу рослин, які володіють надзвичайно інтенсивними способами розмноження у вторинному ареалі і високим ступенем натуралізації. Їх називають інвазійними видами. Серед них розрізняють рослини- трансформери, які на значних площах можуть змінювати особливості екосистеми. Входження (інвазії) агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Інвазійні види призводять до глибоких екологічних наслідків, спричиняючи втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори. Нині доведено, що інвазії рослин можуть перешкоджати сукцесивним процесам на певних територіях, блокуючи наступність фаз їх розвитку та спричиняючи зникнення просторово домінуючих рослинних угруповань та трансформацію природних ландшафтів, створюючи моно домінантні насадження. В той же час широкомасштабні інвазії розглядаються як ознака екологічної кризи певної території, що приводять до зниження потенціалу її самовідновлення.Таким чином, рослини-трансформери – це адвентивні види, поява яких на конкретній території не пов’язана з процесами природного флорогенезу, які виступають едифікаторами та віолентами, утворюють моно домінантні угруповання, змінюють характер вихідного фітоценозу, змінюють сукцесивний ряд, перешкоджають відновленню видів вихідних угруповань [12, 13, 31]. В ділянках несанкціонованих сміттєзвалищ спостерігаємо поширення таких інвазивних видів рослин як Рудбекія розсічена (Rudbeckia Laciniata L.), Мишій сизий (Setaria pumila), Золотушник канадський (Solidago canadensis L.) та Золотушник пізній (Solidago gigantea), Щириця звичайна (Amaranthus retroflexus), Амброзія полинолиста (Ambrosia artemisiifolia L). Окрім інвазійних видів, навколо таких локальних сміттєзвалищ також аборигенну флору змінюють бур’яни, такі як Лопух звичайний (Arctium lappa), Жабрій ладанний (Galeopsis ladanum L.), Капуста польова (Brāssica campēstris), Щириця біла (Amaranthus albus L.), Перстач гусячий (Argentina anserina L.), Якірці сланкі (Tribulus terrestris), Лобода біла (Chenopodium album) та інші [12, 13, 31].

Отримані результати дослідження відібраних взірців ґрунту свідчать, що рівень фітотоксичності ґрунту в зоні накопичення ТПВ є доволі значним і безпосередньо залежить від площі, морфологічного складу та тривалості складування ТПВ. Вивчення мікробіологічного стану ґрунтів полігонів показало зміну структури ґрунтового мікробіому та перерозподіл основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Зокрема, зросла кількість органотрофних бактерій і мікроміцетів. Мікроміцети виявилися більш конкурентоспроможними з високою пристосованістю до умов середовища. Водночас представники цих груп мікроорганізмів мають високий ступінь токсичності, що визначає токсичність ґрунту. Також спостерігався бурхливий розвиток бактерій, які використовують мінеральні сполуки азоту в 1,4–2,2 рази та зменшення чисельності стрептоміцетів на 8–59% та азотфіксуючих мікроорганізмів на 18–60% порівняно з ґрунтом природної екосистеми. Особливо відчутними ці зміни були в урочищах, де тривалість накопичення ТПВ становила 22 та 16 років відповідно. Встановлено, що кількість педотрофних та оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, що засвоюють органічні форми азоту, у ґрунті полігонів зросла в середньому в 2,70, 2,84 та 1,48 рази, що, відповідно, вплинуло на спрямованість основних мікробіологічних процесів [32, 33, 36, 39].

За наявності органічних відходів мінералізація-іммобілізація зросла на 12,4–27,1% за рахунок досить активного розмноження мікроорганізмів, які засвоюють мінеральні форми біогенних речовин і виконують іммобілізуючу функцію мікробоценозу. Під час проведення досліджень обирали сміттєзвалища, які знаходяться приблизно на однаковій висоті над рівнем моря, оскільки за результатами проведених експериментальних досліджень науковців Симочко Л.Ю., Цикун Т.В., Симочко В.В. – чисельність представників основних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів варіює в залежності від висоти розташування лісових масивів. З збільшенням висоти кількість амоніфікаторів та бактерій, що використовують мінеральний азот, зменшується, а чисельність оліготрофів та педотрофів поступово зростає. Показники оліготрофності та педотрофності ґрунту букових пралісів є невисокими порівняно з показниками ґрунтів антропогенно змінених екосистем. Із збільшенням абсолютної висоти коефіцієнти педотрофності та оліготрофності ґрунтів в масивах букових пралісів збільшуються, що пов‘язано з певними сукцесійними змінами мікробного ценозу ґрунту у відповідності до змін факторів навколишнього середовища [12, 16, 36]. Високі значення коефіцієнта оліготрофності в ґрунті полігонів свідчать про зниження вмісту поживних речовин у ґрунті. Так само підвищувався педотрофний коефіцієнт (С пед. = 0,55–0,96). У ґрунті полігонів зафіксовано на 28–23% порівняно з ґрунтом заповідника, що свідчить про активізацію процесів розкладання органічної речовини ґрунту, в тому числі гумусо-

вих сполук. Важливим показником екологічного стану ґрунту є його фітотоксичність – інформативний показник, який рекомендовано використовувати при оцінці антропогенного впливу на ґрунтове середовище. Отримані результати показують, що рівень фітотоксичності ґрунту в зоні накопичення досить значний і безпосередньо залежить від морфологічного складу та тривалості зберігання [32, 33, 37].

Виявлено тісний зв'язок між рівнем фітотоксичності ґрунту та тривалістю зберігання відходів та морфологічним складом ТПВ. Найнижчий рівень фітотоксичності ґрунту порівняно з контролем та ґрунтом заказника виявлено на території найменшого полігону ТПВ та з найменшим терміном складування ТПВ. Тут переважають вторинні побутові відходи, що свідчить про низьке екологічне навантаження на територію полігону та, ймовірно, зумовлено віддаленістю від населених пунктів та періодичним розміщенням відходів. Тоді як у ґрунті сміттєзвалищ інших масивів, де побутові відходи складуються давно та на значній площі, індекс фітотоксичності є значним (50–81%) і свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та підвищений екологічний ризик у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ [33, 37].

Річки та струмки Карпатського біосферного заповідника здебільшого чисті та незабруднені. Їх води мають сприятливий санітарно-біологічний режим, гідрохімічні та мікробіологічні показники, кисневий режим (понад 100% насичення киснем), низький ступінь сапробності (гниття). Часто вода відповідає питним якостям, тому її використовують для пиття, хоча санепідеміологи цього не рекомендують. Проте постійне забруднення негативно впливає на водні екосистеми в цілому. Результати мікробіологічного дослідження мікробіоти води показали, що мікроорганізми води дуже чутливі до забруднення. Рід *Clostridium* включає психрофільні, мезофільні та термофільні види. Основна роль цих організмів у природі полягає в розкладанні органічних матеріалів до кислот, спиртів та мінералів. Часто маслянокислий запах пов'язаний з розмноженням клостридій. Здатність утворювати спори, стійкі до сухості, тепла та аеробних умов сприяє їх поширенню. Більшість видів є облігатними анаеробами, хоча існує толерантність до кисню. Чутливість до кисню обмежує середовище проживання клостридій. Тому клостридії, що ростуть і діляться, не можна знайти в насичених повітрям поверхневих шарах озер і річок або на поверхні органічного матеріалу та ґрунту. Спори клостридій, однак, з високою ймовірністю присутні в цих середовищах і проростуть, коли кисень буде вичерпано та коли будуть присутні відповідні поживні речовини. Зокрема, чисельність грампозитивних бактерій роду *Clostridium* найбільше зафіксована в найбільш забруднених ділянках. Особливої уваги потребує здатність бактерій, що присутні у стічних водах, забруднювати воду в колодязях поблизу. Важливим джерелом забруднення поверхневих і підземних вод є стоки з сільськогосподарських і пасовищних угідь, звалищ і міських територій. Моніторинг мікробіологічних показників дозволяє оцінити негативний вплив забруднених територій на мікробіологічні угруповання джерельної води, особливо в місцях поблизу сміттєзвалищ і нижче за течією. Це може бути викликано фільтратом, який у великій кількості потрапляє зі звалищ у природні водойми під час випадання опадів [31, 33, 37].

Особливу небезпеку становлять стійкі до антибіотиків мікроорганізми, які разом з біопродукцією можуть потрапляти в організми людини і тварин із наземних екосистем. Структура мікробних угруповань ґрунту взаємопов'язана з наявністю стійких до антибіотиків патогенних мікроорганізмів. У ґрунті екосистем, де кількість педотрофів та оліготрофів була більшою, виділено більшу кількість антибіотикорезистентних мікроорганізмів. *Clostridium perfringens* (стійкий до тетрацикліну, рифампіцину, амоксициліну, помірно чутливий до ванкоміцину), *Clostridium difficile* (чутливий до метронідазолу). Тим не менш, збагачення клостридіями ґрунту, який постійно оброблявся гноєм, може бути небезпечним для здоров'я населення, ці бактерії філогенетично тісно пов'язані з патогенними мікроорганізмами людини, отже можливе підвищення ймовірності передачі генів стійкості до антибіотиків патогенним мікроорганізмам людини, оскільки горизонтальний перенос генів більш поширений між близькоспорідненими організмами, ніж між віддаленими [34, 35, 37].

Слід зазначити, що ґрунт із високою концентрацією антибіотика характеризується низьким вмістом азотфіксуючих мікроорганізмів та високою чисельністю оліготрофної та спороутворюючої мікробіоти. З ґрунту були виділені бактерії, стійкі до всіх досліджуваних антибіотиків. Це були представники аеробної мікробіоти: *Bacillus licheniformis, Serratia fonticola, Hafnia alvei, Bacillus cereus, Pantoea agglomerans, Bacillus megaterium* та анаеробні бактерії – *Clostridium difficile*. У природних умовах із ґрунту модельних екосистем були виділені переважно бактерії роду *Bacillus.* Усі вони стійкі до антибіотиків, є збудниками харчових інфекцій і несуть загрозу не лише навколишньому середовищу, а й здоров'ю людей. Присутність енрофлоксацину в ґрунті, особливо у високих концентраціях, викликає негативні зміни в мікробному співтоваристві, значно збільшується кількість антибіотикорезистентних бактерій, втрачається стабільність і цілісність ґрунтового мікробіому. Забруднення антибіотиками є одним із важливих факторів формування резистому ґрунту. Одним із важливих показників еколого-санітарного стану ґрунту і всієї екосистеми є наявність умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів. Забруднення антибіотиками негативно впливає на мікробоценози, фітоценози та зооценози

природних екосистем. Останні дослідження доводять, що під час здійснення екологічної оцінки стану довкілля необхідно враховувати наявність антибіотикорезистентних мікроорганізмів [33, 34, 35].

Негативний вплив забруднення природних екосистем підсилюється змінами клімату, що є загрозою для Карпат. Протягом останніх десятиліть літні температури підвищилися в середньому на 2,4°C у деяких частинах Карпат із збільшенням частоти та інтенсивності хвиль спеки. Клімат має один із найбільших впливів на мікробну діяльність ґрунту [36, 39].

Очікується, що в майбутньому ліси зазнають значного тиску внаслідок зміни клімату. Ендогенна гетеротрофна сукцесія викликає збільшення біомаси оліготрофних бактерій і зменшення філогенетичного різноманіття. Різноманітність вказує на те, як змінювалися мікробоценози під час сукцесії. Довготривалий моніторинг ґрунтового мікробіому дозволив визначити вплив зміни клімату на структурно-функціональні зміни мікробіому ґрунту в пралісах. Перебудова функціональної структури ґрунтового мікробіому внаслідок впливу екзогенних факторів зумовлює зміну спрямованості мікробіологічних процесів. Ґрунт лісових екосистем характеризувався відносно низьким рівнем фітотоксичної активності. Вивчення автентичної ґрунтової мікробіоти створює необхідні передумови для збереження мікробного різноманіття та формування основи еколого-мікробіологічного моніторингу [37, 38, 39, 41].

Діяльність людини значно впливає на мікробіом ґрунту в наземних екосистемах. Антропогенне поширення антибіотиків та їхніх метаболітів може значно змінити склад і функцію ґрунтового мікробіому особливо в трансформованих екосистемах. Крім того, ці екосистеми є гарячими точками для появи та поширення резистентності ґрунту. У забруднених ґрунтах зростає не лише кількість антибіотикорезистентних бактерій, а й рівень їх стійкості до існуючих антибіотиків. Лісові екосистеми характеризуються високим функціональним біорізноманіттям, стійкістю, і невеликою кількістю стійких до антибіотиків бактерій і хвороботворних мікроорганізмів. Структура ґрунтового мікробіому залежить від рівня трансформації та забруднення екосистем. Стійкі до антибіотиків бактерії також існують у природних (лісових) екосистемах, на які людина безпосередньо не впливає, але їх кількість значно менша, а стійкість до антибіотиків нижча. У таких екосистемах оліготрофність мікробіому значно нижча, а стабільність вища. Скринінг умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів у ґрунті доводить, що наземні екосистеми є джерелом поширення патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів, стійких до антибіотиків [39, 40, 41, 43].

Головні висновки. Потрібні ефективні стратегії управління, розробка нових технологій для виявлення та моніторингу трансформованих екосистем, щоб звести до мінімуму ризики для довкілля, оскільки на даних територіях зафіксовано зміни рослинності, в основному тут поширені бур'яни та інвазійні види рослин, які місцями повністю витіснили аборигенну флору. Також визначено значний вплив на якість ґрунту та води поблизу таких ділянок. Зафіксовано зміни у мікробіомі ґрунту під безпосереднім впливом забруднення, а саме збільшення кількості оліготрофних бактерій і зменшення вмісту нітрогенфіксуючих мікроорганізмів. При цьому підвищується інтенсивність мінералізації-іммобілізації, оліготрофності та розкладання органічної речовини ґрунту. Встановлено, що існує тісний зв'язок між тривалістю зберігання ТПВ на певній території та рівнем фітотоксичності ґрунту. У ґрунті деяких сміттєзвалищ індекс фітотоксичності є значним (понад 50%), що свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та підвищення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ. Дестабілізація природних ландшафтів і екологічних систем також значною мірою пов'язана із забрудненням водних екосистем, розташованих у зоні впливу сміттєзвалищ.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлені дані дозволяють виокремети критерії для оцінки екологічного стану трансфомованих екосистем та розробити план заходів спрямованих на їх відновлення.

Література

1. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII (Редакція станом на 13.05.2022) Верховна Рада України; URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text (дата звернення: 02.08.2023).
2. Бороніна Г.Г. Екологічні проблеми Закарпатської області та шляхи їх розв'язання на засадах сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2017. Вип. 13. С. 905–909.
3. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population / S. Delehan-Kokaiko та ін. *Environmental safety and natural resources*. 2020. Т. 34, № 2. С. 43–52. URL: https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52 (дата звернення: 02.08.2023).
4. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population / S. Delehan-Kokaiko та ін. *Environmental safety and natural resources*. 2020. Т. 34, № 2. С. 43–52. URL: https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52 (дата звернення: 02.08.2023).
5. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя. Звернення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів (неофіційний адаптований переклад українською) / пер. з англ. О. Осипенко; ред. та адапт. А. Куземко та ін. Чернівці : Друк Арт, 2020. 36 с.

6. Наумовська О.І. Екологічний аналіз стану ґрунтового покриву в умовах локального забруднення за утворення несанкціонованих сміттєзвалищ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2015. Вип. 214. С. 200–206.
7. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Симочко В.В. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер.: Біологія*. 2017. Вип. 42. С. 77–81.
8. Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології. 2017.* Вип. 22. № 1. С. 55–68.
9. Патика В.П., Симочко Л.Ю. Мікробіологічний моніторинг грунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України. *Мікробіологічний журнал.* 2013. Том 75. № 2. С. 21–31.
10. Симочко Л.Ю. Ферментативна активність грунту букових пралісових екосистем. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції* «Букові праліси та давні букові ліси Європи: проблеми збереження та сталого використання» – Україна, м. Рахів., 2013. С. 289–293.
11. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/998_164 (дата звернення: 02.08.2023).
12. Гафіяк О.В., Симочко Л. Ю. Інвазійна флора антропогенно трансформованих екосистем Карпатського регіону. *Екологічні науки.* 2023. № 47. С. 154–161.
13. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. 2002. 32 с.
14. Симочко Л.Ю., Єнінгі Р.І. Вплив важких металів на біологічну активність грунту придорожних урболандшафтів. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія Біологія.* 2007. № 20. С. 60–63.
15. Carbon pool and biological activities of soils in different ecosystems / O. Demyanyuk та ін. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES).* 2019. Т. 9, № 1. С. 189–200. URL: https://doi.org/10.31407/ijees9122 (дата звернення: 03.08.2023).
16. Симочко Л.Ю., Цикун Т.В., Симочко В.В. Показники оліготрофності та педотрофності грунту пралісів Широколужанського масиву Карпатського біосферного заповідника. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія*. – 2008. – № 24. – С. 91-95.
17. Symochko L. Y., Kalinichenko A. V. Soil Microbiome of Primeval Forest Ecosystems in Transkarpathia. *Mikrobiolohichnyi Zhurnal.* 2018. Vol. 80, no. 3. P. 3–14. URL: https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.003 (date of access: 03.08.2023).
18. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. Київ: Арістей, 2006. 284 с.
19. Patyka V. P., Kyrychenko O. V., Kots S. Y. Screening and Selection of the Soil Microorganisms on the Ability of "Nitrogen-Fixing Activity". *Mikrobiolohichnyi Zhurnal.* 2015. Vol. 77, no. 4. P. 2–7. URL: https://doi.org/10.15407/microbiolj77.04.002 (date of access: 03.08.2023).
20. Boyko M. V., Patyka M. V., Patyka T. I. Estimation of productivity bacillus thuringiensis on different media. *Microbiology&Biotechnology.* 2017. No. 1(37). P. 16–22. URL: https://doi.org/10.18524/2307-4663.2017.1(37).96320 (date of access: 05.08.2023).
21. Патика В.П., Симочко Л. Ю. Біорізноманіття грунтових мікроорганізмів трансформованих біогеоценозів. *Збірник наукових праць "Динаміка біорізноманіття 2012*" – Луганськ, 2012. С. 206–207.
22. Касіянчук Д. В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : thesis. 2016. URL: http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/45 (дата звернення: 03.08.2023).
23. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. Land. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: https://doi.org/10.3390/land12040769 (date of access: 03.08.2023).
24. Симочко Л.Ю., Домбай І.В. Фітотоксична активність ґрунту різних екосистем в умовах низинної частини Закарпаття. *Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки.* 2007. № 5. С. 254–259.
25. Kennedy A. C., Gewin V. L. Soil microbial diversity: present and future considerations. *Soil Science*. 1997. Vol. 162, no. 9. P. 607–617. URL:https://doi.org/10.1097/00010694-199709000-00002 (date of access: 03.08.2023).
26. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. *Land.* 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: https://doi.org/10.3390/land12040769 (date of access: 03.08.2023).
27. Lykov I. N., Sukhanova V. S. Screening of soil activity in different ecological systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 981, no. 2. P. 022060. URL: https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022060 (date of access: 03.08.2023).
28. Симочко Л.Ю., Симочко В.В. Інтегрованість мікробного ценозу ґрунту при антропогенному навантаженні. *Наукові записки державного природознавчого музею.* 2007. Вип. 23. С. 111–118.
29. Symochko L. Soil microbiome: diversity, activity, functional and structural successions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES).* 2020. Vol. 10, no. 2. P. 277–284. URL: https://doi.org/10.31407/ijees10.206 (date of access: 03.08.2023).
30. Симочко Л.Ю., Гафіяк О.В., Дем'янюк О.С. Біоіндикація ґрунту несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатському регіоні. *Агроекологічний журнал.* 2021. No. 2. С. 35–45. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234453 (date of access: 03.08.2023).
31. Антосяк Т.М., Козурак А.В., Волощук М.І. Історія вивчення флори вищих судинних рослин Карпатського біосферного заповідника. – *Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України.* 2018. № 1. С. 4–15.
32. Постоєнко, В. О., Лазарєва, Л. М., & Яремчук, О. С. Основні показники оцінки якості і безпечності меду бджолиного в Україні та їх гармонізація з вимогами ЄС. *Wscho-dnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal).* 2019. № 12(52). С. 14–21. (Warsaw, Poland). URL: http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23367.pd (дата звернення: 03.08.2023).
33. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. – Моніторинг довкілля: підручник. Київ, 2006. 360 с.

34. Ольхович О.П., Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг: Метод. рек. / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2005. 64 с.
35. Симочко Л.Ю. Антибіотикорезистентні мікроорганізми в агроекосистемах як чинник ризику для здоров'я людини. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 201–204.
36. Мальцев В.І., Карпова Г.О., Зуб Л.М. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник – Київ, 2011. 112 с.
37. Яковлєва Л.В., Баглай Т.О. Проблеми антибіотикорезистентності в Україні. *Фармакоекономіка в Україні: стан і перспективи розвитку* : *матеріали XI наук.-практ. інтернет-конф., м. Харків, 24 трав.* 2019 р. Харків : НФаУ, 2019. С. 134–135.
38. Symochko L., Bugyna L., Hafiiyak O. Ecological aspects of biosecurity in modern agroecosystems. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES).* 2021. Vol. 11, no. 1. P. 181–186. URL: https://doi.org/10.31407/ijees11.124 (date of access: 03.08.2023).
39. Patyka V., Symochko L. Soil microbiological monitoring of natural and transformed ecosystems in the Transcarpathian region of Ukraine. *Microbiol. Journal 2013*, 75 (2), pp. 21–31.
40. Hafiiak O., Symochko L. Soil and water microbiota as bioindicators for the assessment ecological status of ecosystem. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES).* 2022. Vol. 12 (1). P. 305–312. DOI: https://doi.org/10.31407/ijees12.136 (date of access: 02.08.2023).
41. Симочко Л.Ю. Сукцесійна концепція мікробіому ґрунту. *Агроекологічний журнал.* 2020. No. 1. С. 39–46. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201267 (дата звернення: 02.08.2023).
42. Tymoshchuk S., Symochko L. Spread of antibiotic-resistant bacteria in the environment. *Ecological Sciences.* 2020. Vol. 2, no. 2. P. 11–15. URL: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.2 (date of access: 03.08.2023).
43. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. Land. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: https://doi.org/10.3390/land12040769 (date of access: 03.08.2023).

УДК 574:630*4(477.42)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.24

АНАЛІЗ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД КОРОСТЕНСЬКОГО РАЙОНУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.І., Пацева І.Г.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
org_vvm@ztu.edu.ua, kgt_shvi@ztu.edu.ua, chaszmin30@gmail.com

Створення природоохоронних територій є одним із найбільш дієвих механізмів, щодо збереження біологічного різноманіття та охорони цінних об'єктів та територій. В Житомирській області станом на 01.01.2023 року сформовано мережу у кількості 268 об'єктів та територій природно-заповідного фонду (ПЗФ), з них 122 об'єкти зосередженні в Коростенському районі. Показник заповідності в Житомирській області становить – 4,77 %, що в 2,8 разів менше у порівнянні з Коростенським районом. В межах об'єднаних територіальних громад (ОТГ) Коростенського району природоохоронні території розміщуються нерівномірно. Так, ОТГ Коростенського району можна розмістити в рангований ряд за зменшенням кількості територій та об'єктів ПЗФ: Олевська > Словечанська > Овруцька > Малинська > Коростенська > Лугінська > Ушомирська > Гладкивицька > Народицька > Іршанська > Чоповицька > Білокоровицька > Горщиківська. В Коростенському районі є два природні заповідники, що є об'єктами ПЗФ вищого рангу. Найбільшу представленість серед природоохоронних територій Коростенського району займають заказники, їх частка становить майже 82,0 %. Аналіз розподілу заказників за типами в Коростенському районі дає можливість побудувати висхідний ряд за збільшенням їх кількості: геологічні < загальнозоологічні < гідрологічні < ландшафтні < ботанічні < лісові. Оцінка розподілу заказників в межах ОТГ Коростенського району дає можливість розмістити їх в такий рангований ряд за зменшенням кількості: Олевська > Словечанська > Овруцька > Малинська > Лугінська > Ушомирська > Коростенська > Народицька > Гладкивицька > Іршанська > Чоповицька > Білокоровицька > Горщиківська. Пам'ятки природи в Коростенському районі зустрічаються лише в семи ОТГ, і найбільш поширеними є ботанічні пам'ятки природи – 71,4 %. До штучно створених територій та об'єктів ПЗФ Коростенського району відносяться два дендрологічні парки та чотири парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. *Ключові слова:* природоохоронні території, показник заповідності, Коростенський район, об'єднанні територіальні громади.

Analysis of the territorial distribution of facilities of the natural reserve fund of the united territorial communities of the korosten district of the zhytomyr region. Melnyk-Shamrai V., Shamrai V., Patseva I.

The creation of nature conservation areas is one of the most effective mechanisms for preserving biological diversity and protecting valuable objects and territories. As of January 1, 2023, a network of 268 objects and territories of natural reserve fund (NRF) has been formed in Zhytomyr region, of which 122 objects are concentrated in Korosten district. The reserve rate in Zhytomyr region is 4.77%, which is 2.8 times less than in Korosten district. Nature conservation areas are located unevenly within the united territorial communities (UTC) of the Korosten district. Thus, the UTC of the Korosten district can be placed in a ranked order according to the decreasing number of territories and objects NRF: Olevsk > Slovechansk > Ovruch > Malyn > Korosten > Luginy > Ushomyr > Hladkyvychi > Narodychi > Irshansk > Chopovichi > Bilokorovychi > Gorshchik. There are two nature reserves in the Korosten district, which are objects of the NRF of the highest rank. Among nature conservation territories of the Korosten district, reserves are the most represented, their share is almost 82.0%. The analysis of the distribution of protected areas by type in the Korosten district makes it possible to build an ascending series according to the increase in their number: geological < general zoological < hydrological < landscape < botanical < forest. The assessment of the distribution of protected areas within the UTC of the Korosten district makes it possible to place them in the following ranked order by decreasing number: Olevsk > Slovechansk > Ovruch > Malyn > Luginy > Ushomyr > Korosten > Narodychi > Hladkyvychi > Irshansk > Chopovichi > Bilokorovychi > Gorshchik. Natural monuments in the Korosten district are found only in seven UTC, and the most common are botanical natural monuments – 71.4%. The artificially created territories and objects of the NRF of the Korosten district include two dendrological parks and four parks-monuments of horticultural art. *Key words:* nature conservation areas, reserve index, Korosten district, united territorial communities.

Постановка проблеми. Сталий розвиток держави має еквівалентно поєднувати соціальну, економічну та екологічну складову. Створення природоохоронних територій є ключовим елементом національного законодавства щодо охорони навколишнього природного середовища та виконання міжнародних договорів і зобов'язань. В Україні природоохоронні території це – території, які створюються з метою охорони природних ландшафтів від надмірних змін внаслідок господарської діяльності людини та призначені для захисту і підтримки біологічної різноманітності. Завдяки прийнятій «Конвенції про охорону біологічного різноманіття» (1994 р.) [1] у світі було створено систему управління природоохоронними територіями суходолу та морських акваторій. В Україні існування таких територій регламентується законами України «Про природно-заповідний фонд» [2]. В Україні практичним механізмом охорони природ-

них екосистем, ландшафтів, рослинних угруповань і рідкісних видів є створення заповідних територій. Звичайно інші природоохоронні заходи (формування екомережі, ведення Зеленої та Червоної книги) є дієвими, але реалізуються вони лише за рахунок оголошення нових територій та об'єктів ПЗФ. Здійснення децентралізаційних процесів сприяло утворенню великої кількості об'єднаних територіальних громад (ОТГ), на «плечі» яких перемістилися проблеми охорони довкілля, в тому числі, і створення та охорона природоохоронних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових публікаціях питання збереження біологічного різноманіття, особливості формування природно-заповідного фонду України, їх історичний розвиток та подальші перспектив вдосконалення, а також принципи класифікації, розміщення, репрезентативності та картографування територій знайшли відображення, зокрема, в роботах [3–15] Гродзинський М. Д., Шелягг-Сосонко Ю. Р., Черевченко Т. М., Шищенко П. Г., Мірошниченко О. В., Артамонов В. А., Черемнова А. І., Гірний Б. М., Мудрак О. В., Василюк О., Іваненко Є. І., Гетьман В. І., Кирилюк М. О., Поливач К. А., Яйлимов Б. Я., Яйлимова Г. О., Шелестов А. Ю., Лавренюк А. М. та інші.

Питання щодо формування, функціонування та сучасного стану ПЗФ Житомирської області досліджували фахівці різноманітних напрямів. Так, у роботі [16] наведено детальний опис територій та об'єктів ПЗФ Житомирської області. В публікаціях [17, 18] здійснено сучасний аналіз ПЗФ області та оцінено розподіл природоохоронних територій в межах адміністративних районів. У працях [19, 20] досліджено заповідні території в межах лісогосподарських господарств, а в роботах [21, 22] розглянуто репрезентативність природних екосистем у природно-заповідному фонді Житомирської області та вивчено роль екологічних стежок як засобу формування екологічної свідомості та культури особистості.

Відповідно до державної стратегії регіонального розвитку на 2021–2027 роки [23] передбачено розширення площі ПЗФ України до 15 % від загальної території країни у 2027 році. Показник заповідності є важливим індикатором соціального та екологічного розвитку держави, що сприяє підтриманню екологічного балансу екосистем та екологічно-стабільного розвитку територій. Сьогодні створення нових територій та об'єктів ПЗФ лягає на ОТГ, саме завдяки їх цілеспрямованій та кропіткій роботі по всіх регіонах нашої країни вдасться досягнути цього показника. Створення природоохоронних територій місцевого значення покладено на обласні департаменти екології, а їх оголошення – на обласні державні адміністрації. Рішення стосовно об'єктів загальнодержавного значення приймає президент України [24]. Після проведення реформ щодо децентралізації влади в Україні, новостворені ОТГ отримали додаткову мотивацію та зацікавленість щодо створення природно-заповідних територій. Збалансоване використання природних ресурсів та стабільний екологічний стан територій громади – це запорука належного фінансування ОТГ. Так, для збереження та охорони довкілля в межах ОТГ було розроблено та законодавчо закріплено ряд повноважень в різних законодавчих актах [25–28], які є доступними мотиваторами для розвитку. Більш важливим мотиватором сталого розвитку громад є екосистемні послуги. Ці послуги мають грошовий еквівалент. Існує велика кількість різних проєктів щодо застосування екологічних послуг в межах ОТГ, але найбільшу зацікавленість в громадах викликає програма боротьби з наслідками зміни клімату [29]. Адаптація до сучасних змін клімату не можлива без збільшення кількість зелених насаджень та використання ресурсів існуючих територій ПЗФ. Зберігаючи природні території в непорушеному стані, ОТГ може отримати значно більше у порівнянні з їх використанням. Тож для довгострокового збереження природи, що забезпечить можливість надавати екосистемі послуги та підтримувати належний рівень нашого життя, найкращий механізм це – розвиток ПЗФ.

На сьогодні вже створено та оголошено понад 8400 територій та об'єктів ПЗФ, і переважна більшість ОТГ має на своїй території принаймні одну із них. Тому слід добре знати, які обов'язки та можливості має ОТГ щодо охорони територій ПЗФ та інших земель під час планування майбутньої діяльності. Так, ОТГ може використовувати заповідні території в різних напрямках своєї діяльності: рекреаційна діяльність та оздоровлення, розвиток туризму, здійснювати просвітницько-екологічні та освітні заходи для виховання молодого покоління, науково-дослідна робота, моніторинг довкілля, охорона природи, отримання додаткового фінансування від екофондів. Варто пам'ятати, що ОТГ буде нести відповідальність за можливі негативні наслідки впливу антропогенної діяльності на такі об'єкти під час прийняття своїх рішень та має виконувати всі юридичні зобов'язання щодо охорони заповідних територій.

Не всі ОТГ мають на своїй території достатню кількість цінних природоохоронних територій. Саме тому, необхідно здійснювати аналіз щодо наявності та можливого створення нових територій в межах різних ОТГ. Це дасть можливість компенсувати нестачу природоохоронних територій в тих регіонах, які є найбільш постраждалими від господарської діяльності людини.

Мета дослідження полягає у вивченні сучасного розподілу об'єктів і територій ПЗФ в об'єднаних територіальних громадах Коростенського району Житомирській області. Об'єктом досліджень є природно-заповідний фонд ОТГ Коростенського району Житомирській області. Предмет досліджень – розподіл об'єктів ПЗФ в ОТГ Коростенського району Житомирській області.

Новизна отриманих матеріалів полягає в тому, що проаналізовано сучасний розподіл об'єктів та територій ПЗФ в об'єднаних територіальних громадах Коростенського району Житомирської області. Результати дослідження можуть бути використані для вивчення закономірностей розвитку та пошуку шляхів для охорони, відтворення та створення об'єктів та територій ПЗФ.

Методика досліджень. Дослідження проводилися шляхом збирання інформації з екологічних паспортів щодо виявлення об'єктів ПЗФ в Коростенському районі Житомирської області, опрацюванні літературних джерел та інтернет-ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Станом на 01.01.2023 року в Житомирській області сформовано мережу у кількості 268 об'єктів та територій ПЗФ, з них: 20 об'єкти загальнодержавного значення та 248 об'єктів місцевого значення [18]. Показник заповідності для Житомирської області становить – 4,77 %. Розподіл природоохоронних територій в межах адміністративних районів Житомирської області є нерівномірним (рис. 1).

Так, 45,9 % всіх заповідних територій розміщуються в Коростенському районі, тоді як в Житомирському та Звягельському районі їх частка в 1,7 та 2,4 разів менша порівняно з Коростенським. Найменша кількість природоохоронних територій у Бердичівському районі – 8,2 %. Показник заповідності в адміністративних районах Житомирської області є строкатим та коливається від 0,38 % до 13,54 %. На основі отриманих результатів дані адміністративні райони можна розмістити в рангований ряд за зменшенням показника заповідності: Коростенський > Звягельський > Бердичівський > Житомирський.

В Коростенському районі Житомирської області є 122 об'єкти ПЗФ, які представленні п'ятьма категоріями: до природних відносяться – природні заповідники, заказники та пам'ятки природи; і штучно створенні дендропарки та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Структура ПЗФ Коростенського району представлена на рисунку 2.

До складу Коростенського району входять: Коростенська, Малинська, Овруцька, Олевська міські, Іршанська, Лугинська, Народицька, Чоповицька селищні та Білокоровицька, Гладковицька, Горщиківська, Словечанська, Ушомирська сільські територіальні громади [30]. Розподіл природоохоронних територій в межах ОТГ Коростенського району є нерівномірний (рис. 3).

Найбільша кількість природоохоронних територій зосереджена в Олевській ОТГ, що становить 28,2 % від загальної кількості об'єктів ПЗФ в Коростенському районі, а в Горщиківській ОТГ взагалі відсутні заповідні території. У всіх інших ОТГ частка об'єктів ПЗФ від загальної кількості коливається від 0,8 % до 14,5 %. На основі отриманих результатів ОТГ Коростенського району можна розмістити в рангований ряд за зменшенням кількості територій та об'єктів: Олевська > Словечанська > Овруцька > Малинська > Коростенська > Лугінська > Ушомирська > Гладкивицька > Народицька >

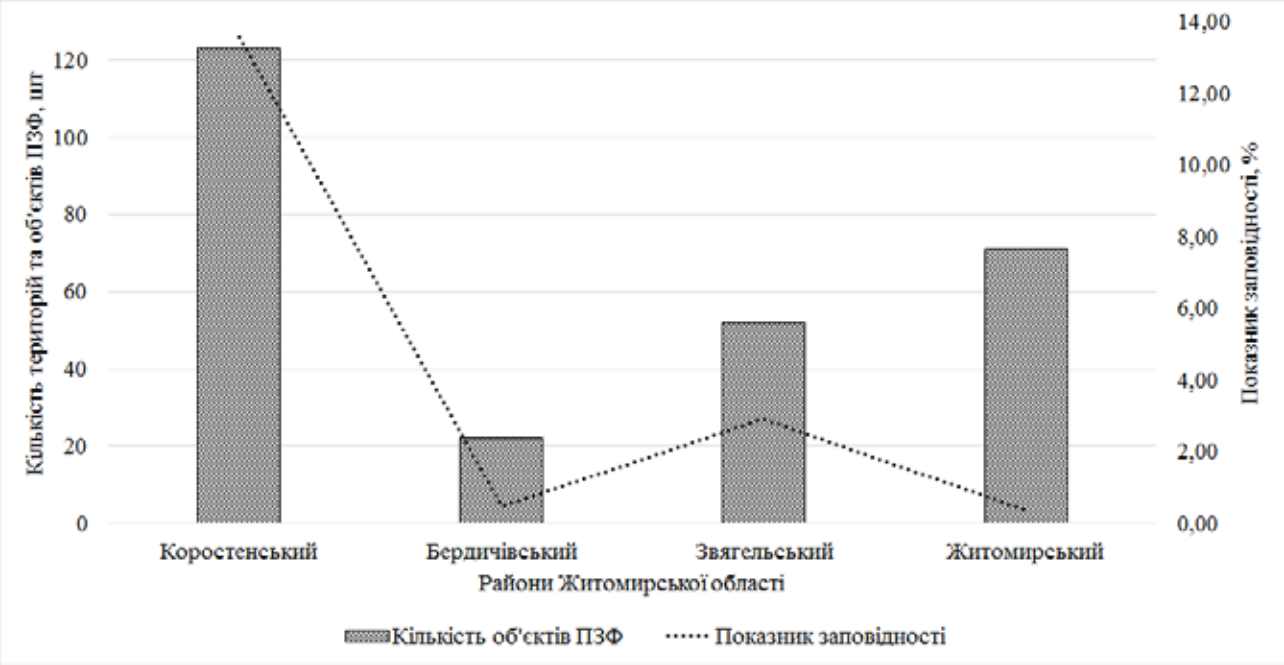


Рис. 1. Розподіл природоохоронних територій за адміністративними районами Житомирської області за показником заповідності та кількістю

Джерело: власні дослідження

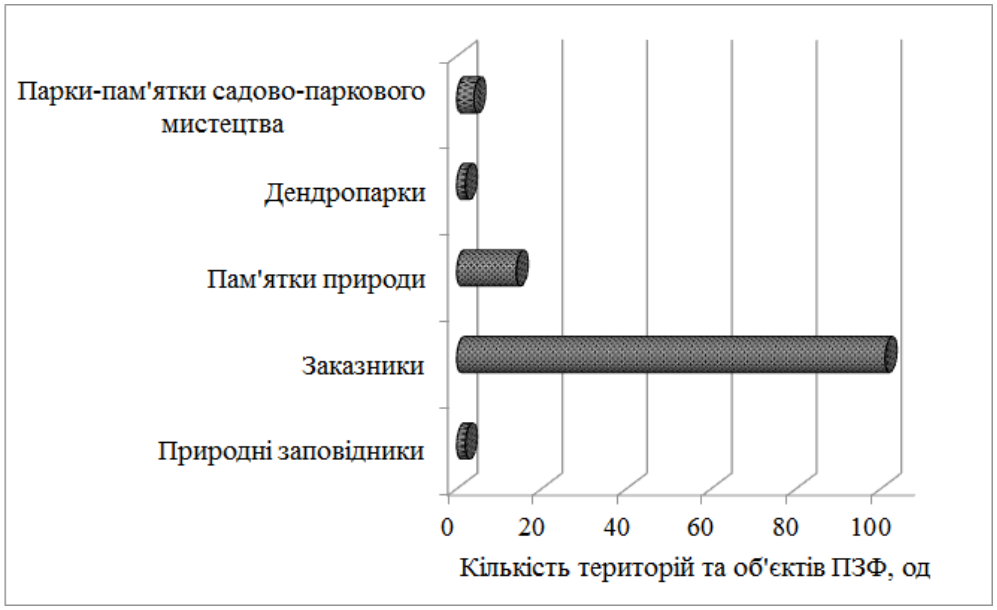


Рис. 2. Структура ПЗФ Коростенського району Житомирської області, од.

Джерело: власні дослідження

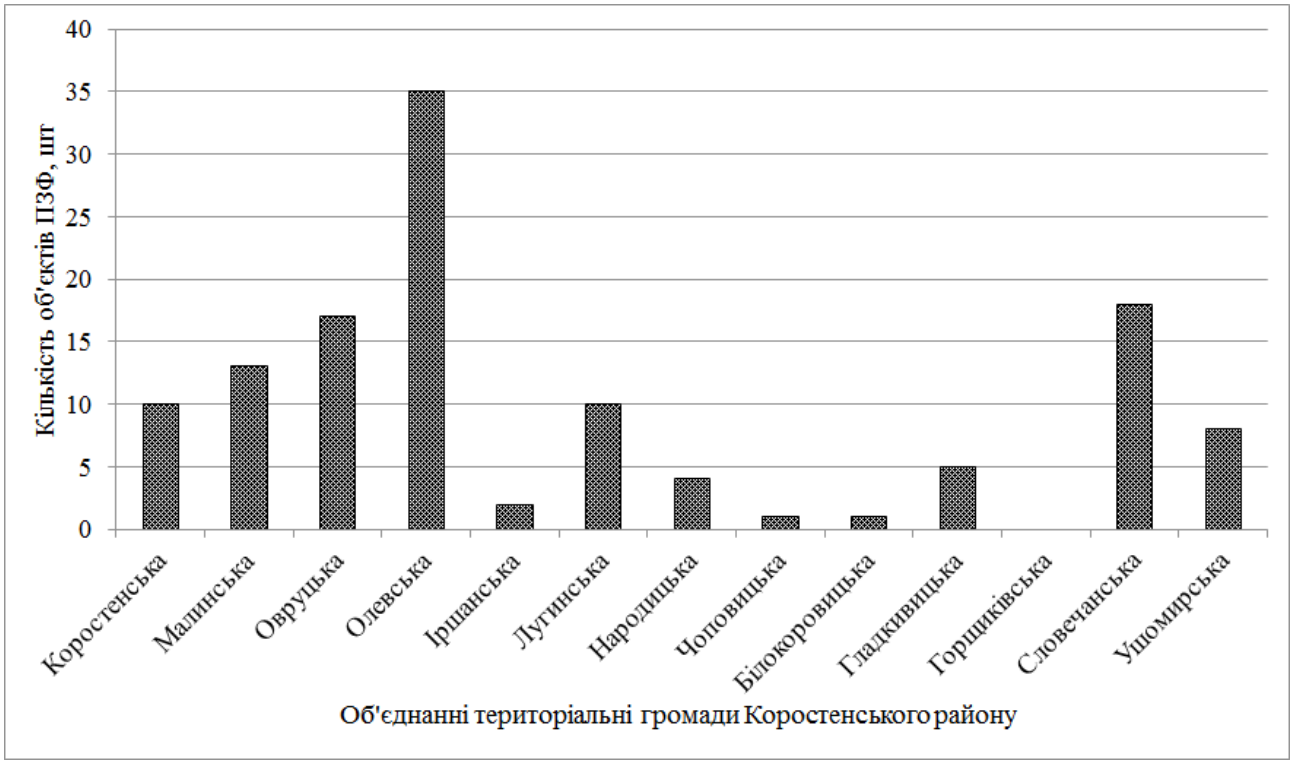


Рис. 3. Розподіл територій та об'єктів ПЗФ
по об'єднаних територіальних громадах Коростенського району, од

Джерело: власні дослідження

Іршанська > Чоповицька > Білокоровицька > Горщиківська.

В Коростенському районі є об'єкти ПЗФ вищого рангу – природні заповідники, які розміщуються в межах трьох ОТГ. «Поліський природний заповідник» розташовується в межах Олевської та Словечанської ОТГ. Поліський природний заповідник – край лісів та боліт. Тут збереглися післяльодовикові ландшафти з непрохідними лісами та піщаними грядами, що височіють над болотними

масивами та річковими заплавами. Заповідник оберігає найбільші площі лишайникових борів з карликовими соснами, великі масиви ягідників та вересовища, унікальні ялівцеві ліси [31]. Природний заповідник «Древлянський» відноситься до Народицької ОТГ. Територія заповідника охоплює значні площі лісів, забруднених радіонуклідами, і на цих територіях запроваджено суворий режим охорони [32]. Внаслідок російських обстрілів виникали пожежі, що призвели до вигорання 3200 га площі заповідника, а на мінах, що залишили по собі ворожі війська, підривалися дикі звірі [33].

Найбільшу представленість серед природоохоронних територій Коростенського району займають заказники. Так, їх частка від загальної кількості об'єктів та територій ПЗФ становить майже 82,0 % (рис. 4). Розподіл заказників в межах ОТГ також нерівномірний. Так, в Іршанській, Чоповицькій,

Білокоровицькій та Гладкивицькій ОТГ є лише по одному заказнику, тоді як у Олевській ОТГ – 32 об'єкти.

ОТГ Коростенського району можна розмістити в рангований ряд за збільшенням кількості заказників: Горщиківська < Білокоровицька < Чоповицька < Іршанська < Гладкивицька < Народицька < Коростенська < Ушомирська < Лугінська < Малинська < Овруцька < Словечанська < Олевська.

Аналіз розподілу заказників у межах різних ОТГ Коростенського району за типами свідчить, що найчастіше зустрічаються лісові заказники, їх частка складає 28,0 % (рис. 5). Ботанічних, ландшафтних та гідрологічних заказників у 1,5 рази менше порівняно з лісовими, а загальнозоологічних у 2,3 рази менше, ніж останніх. В Коростенському районі є лише один геологічний заказник. Проаналізувавши розподіл різних типів заказників по ОТГ Коростенського району можна відмітити, що лісові заказники найбільш частіше зустрічаються в Олевській (46,2 %), Лугінській (17,8 %) та Словечанській (10,7 %) ОТГ, у всіх інших ОТГ наявний хоча б один лісовий заказник, або вони взагалі відсутні.

Ботанічних заказників в Коростенському районі 21 об'єкт, ОТГ району можна розмістити в такий ряд за зменшенням їх кількості: Олевська > Словечанська > Лугінська > Овруцька, Гладковецька, Народицька. Ландшафті заказники найбільш поширені в Малинській ОТГ – 42,1 % від їх загальної кількості, а в Коростенській та Овруцькій ОТГ їх частка становить 15,8 % та 21,1 %. Гідрологічні заказники розміщуються рівномірно по Коростенському району, проте їх основна частина зосереджується в Олевській та Ушомирській ОТГ – 26,3 % та 21,0 % відповідно. Загальнозоологічні заказники найчастіше зустрічаються в Овруцькій (33,3 %) та Словечанській (25,0 %) ОТГ. В таких ОТГ як Іршанська, Чоповицька, Білокоровицька та Гладкивицька зустрічається лише один з різних типів заказників, а в Горщиківській ОТГ взагалі відсутні заказники як природоохоронні території.

При вивченні розподілу пам'яток природи по ОТГ Коростенського району встановлено, що з тринадцяти ОГТ району вони зустрічаються лише в семи (рис. 6).

Найбільш поширеними є ботанічні пам'ятки природи – 71,4 %, які зустрічаються в шести ОТГ.

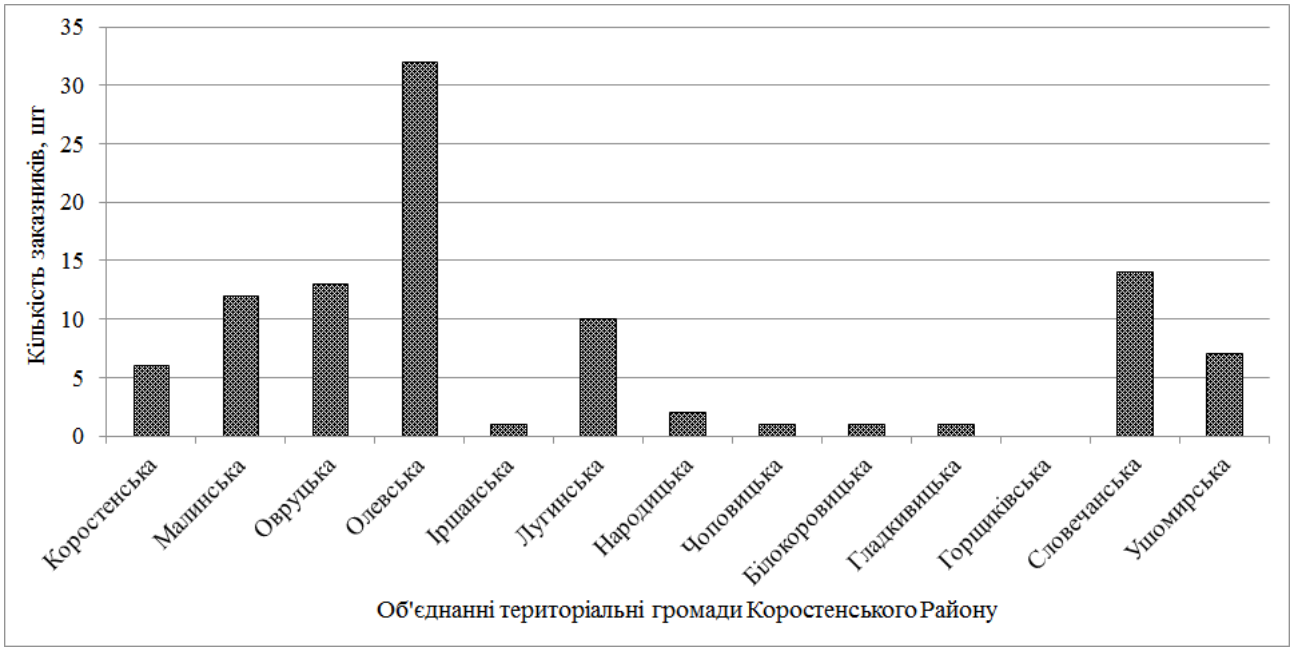


Рис. 4. Розподіл заказників по об'єднаних територіальних громадах Коростенського району, од

Джерело: власні дослідження

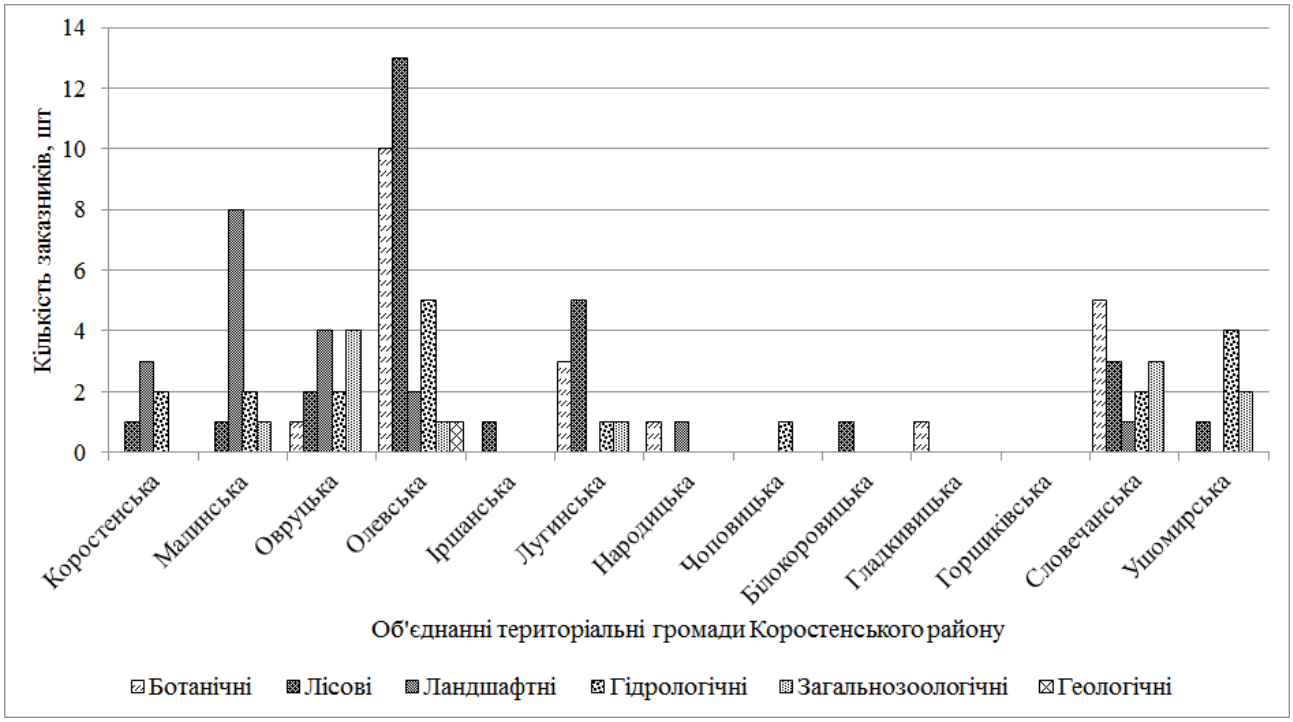


Рис. 5. Розподіл різних типів заказників по об'єднаних територіальних громадах Коростенського району, од

Джерело: власні дослідження

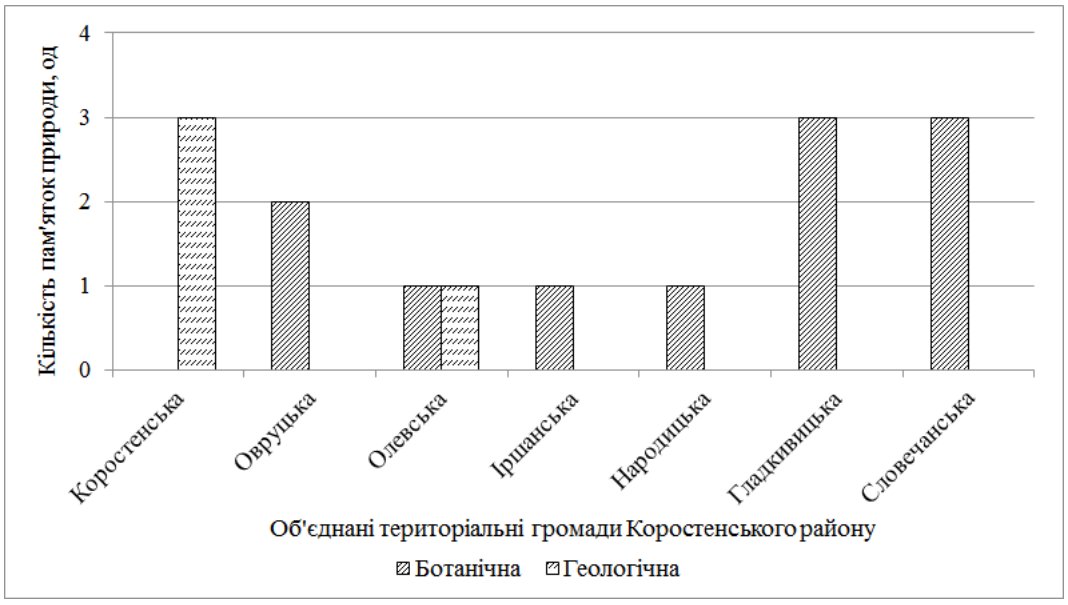


Рис. 6. Розподіл різних типів пам'яток природи по об'єднаних територіальних громадах Коростенського району, од

Джерело: власні дослідження

Геологічних пам'яток природи в 2,5 рази менше порівняно з ботанічними і вони зустрічаються лише в Коростенській та Олевській ОТГ.

В Коростенському районі є два дендрологічні парки, які розміщуються в Гладковицькій («Гладковицький») та Коростенській («Еліта») ОТГ. Парки-пам'яти садово-паркового мистецтва представленні чотирма об'єктами. Так, в Овруцькій ОТГ є «Овруцький парк» та «Парк Юліно», в Малинській – «Парк ім. Міклухо-Маклая» та Ушомирській «Парк Ушомирський».

Головні висновки. Дослідженнями встановлено, що сучасна кількість території та об'єктів ПЗФ для Коростенського району Житомирської

області становить 122 од. Показник заповідності Коростенського району – 13,54 %, що в 2,8 разів більше у порівнянні із Житомирською областю. Даний показник можна вважати задовільним, але місцевим органам влади необхідно працювати над його покращенням, адже для стабільного екологічного розвитку територій цей показник має бути понад 15 % і сягати до 20 % як в Європейських країнах. В Коростенському районі наявні 5 категорій ПЗФ, особливо цінними є два природні заповідники, але найбільш представленими є заказники (82,0 %). Розподіл природоохоронних територій в межах ОТГ Коростенського району є нерівномірний. Найбільша кількість природоохоронних територій зустрічається в Олевській ОТГ, а в Горщиківській – взагалі відсутні заповідні території. ОТГ Коростенського району можна розмістити в такий рангований ряд за зменшенням кількості територій та об'єктів ПЗФ: Олевська > Словечанська > Овруцька > Малинська > Коростенська > Лугінська > Ушомирська > Гладкивицька > Народицька > Іршанська > Чоповицька > Білокоровицька > Горщиківська. Аналіз розподілу заказників у межах різних ОТГ Коростенського району за типами свідчить, що найбільш поширеними є лісові заказники, а найменш – геологічні. Варто відмітити, що кожна ОТГ Коростенського району (окрім Горщиківській ОТГ) має хоча б один заказник. Пам'ятки природи зустрічаються в семи ОТГ, найбільш поширені ботанічні – 71,4 %. Зі штучних об'єктів ПЗФ зустрічаються два дендрологічні парки та чотири парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва. Одним з основних завдань об'єднаних територіальних громад є забезпечення реалізації екологічної політики України та екологічних прав громадян. Саме тому, необхідно більш свідомо відноситися до створення та збереження територій та об'єктів ПЗФ району, а також вдосконалювати управління наявними природоохоронними територіями та покращувати їх стан.

Література

1. Конвенції про охорону біологічного різноманіття. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030#Text (дата звернення: 15.06.2023 р.).
2. Закон України «Про природно-заповідний фонд України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text (дата звернення: 15.06.2023 р.).
3. Гродзинський М. Д. Різноманіття ландшафтних різноманіть. Ландшафт як інтегруюча концепція XXI сторіччя: *Збірник наукових праць*. Київ, 1999. С. 50–56.
4. Гродзинський Д. М., Шеляг-Сосонко Ю. Р., Черевченко Т. М. та ін. Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні. К. : Академперіодика, 2001. С. 104.
5. Гродзинський М. Д., Шищенко П. Г. Збереження та відтворення ландшафтного різноманіття в контексті сталого розвитку. *Заповідна справа в Україні*. 1998. Т. 4. Вип. 1. С. 3–7.
6. Мірошниченко О. В., Артамонов В. А. Інституційні проблеми створення та розвитку об'єктів природно-заповідного фонду України. *Всеукраїнська екологічна ліга.* К.: АспектПоліграф. 2013. № 6. С. 5–8.
7. Черемнова А. І. До питання створення та охорони територій та об'єктів природно-заповідного фонду України. *Актуальні проблеми держави і права*: зб. наук. пр. Вип. 25. Одеса, 2005. С. 378–382.
8. Гірний Б. М. Сучасний стан і перспективи розвитку природно-заповідного фонду України. *Продуктивні сили і регіональна економіка:* Зб. наук. пр.: У 2 ч. / РВПС України НАН України. К.: РВПС України НАН України, 2004. Ч. 1. 245 с. С. 91–98.
9. Мудрак О. В. Історія розвитку заповідної справи на Поділлі. *Актуальні питання біології, екології та хімії.* Електронне наукове фаховості видання Запорізького національного університету. 2009. № 3. С. 77–89.
10. Василюк О. Функціональна класифікації територій природно-заповідного фонду України: історія формування та міжнародний аспект. *GEO&BIO.* 2019. Том 18. С. 3–20. doi: https://doi.org/10.15407/gb1803
11. Іваненко Є.І. Аналіз розміщення природно-заповідного фонду України: підхід, стан, проблеми. *Український географічний журнал*. 2013. № 3. С. 64–69.
12. Гетьман В.І. Ландшафтна репрезентативність природно-заповідного фонду України. *Екологічні науки : науково-практичний журнал.* К.: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 7(34). С. 71–80.
13. Кирилюк М. О. Картографування природно-заповідного фонду України: сучасний стан та перспективи. *Регіональні проблеми України.* 2019. С. 125–128.
14. Поливач К. А. Інформаційно-довідковий атлас природно-заповідного фонду регіону. *Український географічний журнал*. 2016. № 1 С. 53–60. https://doi.org/10.15407/ugz2016.01.053
15. Яйлимов Б.Я., Яйлимова Г.О., Шелестов А.Ю., Лавренюк А.М. Використання супутникових продуктів для аналізу змін територій природно-заповідного фонду України. *Міжнародний науково-технічний журнал – Проблеми керування та інформатики*. 2022. № 3 С. 135–150.
16. Орлов О. О., Сіренький С. П., Якушенко Д. М., Жижин М. П., Степаненко М. А., Тарасевич О. В. Природно-заповідний фонд Житомирської області: Довідник. За загальною редакцією О.О. Орлова. Житомир, Новоград-Волинський: Вид-во «НОВОград», 2015. 404 с.
17. Мельник В.В. Аналіз природно-заповідного фонду України та Житомирської області. *Екологічні науки: науково-практичний журнал.* К.: Видавничий дім «Гельветика», 2021. № 2(35). С. 125-131.
18. Мельник-Шамрай В.В., Шамрай В.В., Пацева І.Г., Курбет Т.В. Оцінка стану природно-заповідного фонду Житомирської області. *Екологічні науки : науково-практичний журнал.* К.: видавничий дім «Гельветика», 2023. № 3(48). С. 108-115.
19. Ткачук В. І. Багаторічна динаміка природно-заповідного фонду на території лісогосподарських підприємств Житомирської області. *Лісівництво і агролісомеліорація.* 2007. Вип. 111. С. 235–241.

20. Андреєва, О. Ю., Марков, Ф. Ф., Іванюк, Т. М., Корма, О. М., & Кірейцева, Г. В. Різноманіття флори на деяких об'єктах природно-заповідного фонду ДП «Коростенське лісомисливське господарство» Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2022. 32(4). С. 12–17.
21. Осадчук К.О., Давидова І.В., Корбут М. Б., Бондарчук В.М., Бабяк В.В. Репрезентативність природних екосистем у природно-заповідному фонді Житомирської області. *Технічна інженерія*. 2021. Вип. 2(88). С. 135–147.
22. Герасимчук О.Л. Корбут М.Б. Екологічна стежка як засіб формування екологічної культури особистості. *Проблеми освіти: збірник наукових праць. ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти».* Випуск 91. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. С. 92–96.
23. Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/695-2020-%D0%BF#Text (01.06.2023 р.).
24. Природно-заповідний фонд як основа збереження природи громади. Режим доступу: https://uncg.org.ua/osnova-zberezhennia-pryrody-hromady/ (01.06.2023 р.).
25. Закону України «Про місцеве самоврядування». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-%D0%B2%D1%80#Text (01.06.2023 р.).
26. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text (01.06.2023 р.).
27. Законом України «Про стратегічну екологічну оцінку». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text (01.06.2023 р.).
28. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (01.06.2023 р.).
29. Створення можливостей для громад з метою адаптації до зміни клімату. Кейс-стаді. Режим доступу: https://ucn.org.ua/?p=4412 (01.06.2023 р.).
30. Коростенський район. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD (01.07.2023 р.).
31. Поліський природний заповідник. Режим доступу: https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/poliskyy-pryrodnyy-zapovidnyk/ (01.07.2023 р.).
32. Природний заповідник «Древлянський». Режим доступу: https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/pryrodnyy-zapovidnyk-drevlianskyy/(01.07.2023 р.).
33. Мурин С.С., Мельник-Шамрай В.В. Вплив військової агресії на стан природоохоронних територій. Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології», 6 жовтня 2022 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2022. С. 11–12.

УДК 502.35:338.48:332
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.25

SWOT-АНАЛІЗ РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Хоменко С.В., Тарасюк Г.М., Кірейцева Г.В., Демчук Л.І., Циганенко-Дзюбенко І.Ю.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
Svetlana1103@ukr.net, halynatarasiuk@ztu.edu.ua, gef_kgv@ztu.edu.ua,
ke_dlm@ztu.edu.ua, ke_miyu@ztu.edu.ua

Розглянуто і систематизовано наукові підходи застосування SWOT – аналізу для розробки сценарію розвитку туристично-рекреаційної галузі Житомирської області. Встановлено, що SWOT-аналіз є дієвим інструментом процесу управління стійким розвитком регіонів, а туристично-рекреаційна діяльність відіграє важливу роль в системі регіонального розвитку, забезпечуючи раціональне використання і збереження природно-екологічних, культурно-історичних та інформаційно-пізнавальних ресурсів території.

Комплексна оцінка розвитку туристично-рекреаційної галузі Житомирської області за допомогою SWOT-аналізу дозволить визначити можливості та загрози розвитку туристично-рекреаційної галузі. Аналізуючи отримані дані, дійшли висновку, що Житомирська область Аналізуючи дані SWOT-аналізу, дійшли висновку, що Житомирська область має більше можливостей, ніж ризиків розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу. Серед факторів, що сприятимуть сприятливим змінам є: розвиток нових видів туризму (наприклад: військовий туризм), міжнародні зв'язки, фінансовий розвиток регіонів, децентралізація, посилення ролі громадянського суспільства та підтримка підприємств. Сильними сторонами розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу Житомирської області є: понад 500 одиниць туристичних об'єктів, географічне розташування, природно-ресурсний потенціал; міжнародні транспортні сполучення, адже територією області проходить безліч міжнародних автошляхів, шляхів обласного та районного значень. Слабкими сторонами розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу є: недостатня кількість інвестицій, адже інвестори не бачать перспективи вкладання коштів у галузь туризму, а також відсутність достатнього рівня інноваційного розвитку; ціна туристичного продукту залишається слабкою стороною через надто завищені ціни на деякі тури; стандарти обслуговування в області перебувають на низькому рівні і потребують удосконалення; реклама Житомирської області залишається на низькому рівні через те, що регіон не представляє себе на міжнародних та всеукраїнських заходах у повній мірі, відсутні інформації на інтернет-ресурсах; екологічний стан області сягає відмітки «задовільно» через функціонування в області багатьох промислових підприємств, які шкодять навколишньому середовищу. *Ключові слова:* рекреація, туризм, SWOT-аналіз, туристично-рекреаційна діяльність, туристично-рекреаційні ресурси, туристично-рекреаційні потреби.

SWOT-analysis of the recreational and tourist potential of the Zhytomyr region. Khomenko S., Tarasyuk G., Kireitseva H., Demchuk L., Tsyhanenko-Dziubenko I.

The article considers and systematizes scientific approaches to the application of SWOT-analysis to develop a scenario for the development of the tourism and recreation industry in Zhytomyr region. It has been found that SWOT analysis is an effective tool for managing the sustainable development of regions, and tourism and recreational activities play an important role in the system of regional development, ensuring the rational use and preservation of natural, environmental, cultural, historical, informational and cognitive resources of the territory.

A comprehensive assessment of the development of the tourism and recreation industry in the Zhytomyr region using SWOT analysis will allow to identify opportunities and threats to the development of the tourism and recreation industry. Analyzing the data obtained, we concluded that Zhytomyr region has more opportunities than risks for the development of recreational and tourist potential. Among the factors that will contribute to favorable changes are: the development of new types of tourism (for example, military tourism), international relations, financial development of the regions, decentralization, strengthening the role of civil society and support for enterprises. The strengths of the recreational and tourist potential of Zhytomyr region are: more than 500 tourist facilities, geographical location, natural resource potential; international transport links, as many international highways, regional and district roads pass through the region. Weaknesses in the development of recreational and tourist potential are: insufficient investment, as investors do not see prospects for investing in the tourism industry, as well as the lack of a sufficient level of innovation; the price of the tourist product remains a weakness due to overpriced prices for some tours; service standards in the region are low and need to be improved; advertising of Zhytomyr region remains low due to the fact that the region does not represent itself at international and national events. *Key words:* recreation, tourism, SWOT analysis, tourist and recreational activities, tourist and recreational resources, tourist and recreational needs.

Постановка проблема. В умовах тривалого економічного спаду у післявоєнний період та скорочення доходів громадян в Україні туристично-рекреаційна галузь заслуговує на особливу увагу. Інтеграція України в європейські структури через Угоду про Асоціацію з ЄС відкриває нові шляхи для просування національного туристичного продукту на світовому ринку, залучення до світового інформаційного простору, передового досвіду організації туристичної діяльності.

Одним із пріоритетних напрямів регіонального розвитку Житомирської області в наш час

є туристично-рекреаційна галузь. Розвиток цієї галузі дає можливість забезпечити зайнятість населення, поліпшити соціальну інфраструктуру, відновити регіональну економіку за рахунок залучення інвестицій, покращити рівень життя населення та поліпшити стан довкілля регіону за рахунок додаткового фінансування природоохоронних заходів.

Основу привабливості Житомирщини в туристично-рекреаційній галузі формують як історичні пам'ятки, так і природні умови та ресурси, які сприяють розвитку багатьох видів туризму.

Отже, туристично-рекреаційна діяльність відіграє важливу роль в системі регіонального розвитку країни, забезпечуючи раціональне використання і збереження природно-екологічних, культурно-історичних та інформаційно-пізнавальних ресурсів території. Саме тому, комплексна оцінка розвитку туристично-рекреаційної галузі Житомирської області за допомогою SWOT-аналізу дозволить визначити можливості та загрози розвитку туристично-рекреаційної галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці дослідження складу туристично-рекреаційного потенціалу регіону взагалі, і Житомирського, зокрема, приділяли увагу у своїх працях такі вітчизняні та зарубіжні вчені: О.С. Андрієць, А.В. Бакурова, О.О. Бейдик, В.І. Биркович, І.А. Букрєев, Н.Г. Виговська, А. Гайдук, І.В. Давиденко, В.Ф. Кифяк, М.В. Копач, М.Ю. Кострица, О.О. Любіцева, Н.П. Мешко, В. Шиманська, В.Г. Щабельська та інші. Зокрема, проблеми розвитку рекреаційно-туристичної сфери розглядаються у працях В. Євдокименка, Ю. Зінько, В. Кравціва, Х. Роглєва, М. Рутинського. Проблему розвитку туристично-рекреаційного бізнесу розглянуто у працях таких вітчизняних та зарубіжних науковців як А.Ю. Алєксандрова, М.П. Мальська, М.З. Гамкало, О.Ю. Бордун, О.О. Бейдик, В.Г. Завада, В.Ф. Данильчук та багато інших. Значення, особливості та методику проведення SWOT-аналізу розвитку туризму в Україні досліджували О. Коновалова, Г. Копець, Ю. Наврозова, В. Фролова, В. Шиманська та інші.

Провівши аналіз літературних джерел, можна стверджувати, що більш детального дослідження потребує використання та проведення SWOT-аналізу рекреаційно-туристичного потенціалу регіону як дієвого інструменту процесу управління стійким розвитком регіонів.

Метою дослідження є застосування SWOT–аналізу рекреаційно-туристичного потенціалу для розробки сценарію розвитку туристично-рекреаційної галузі Житомирської області.

Основні результати та обговорення. Найважливішим етапом при формуванні стратегії розвитку туризму в країні (регіоні, місті) є стратегічний і конкурентний аналіз. Одним із інструментів стратегічного аналізу виступає SWOT-аналіз, який широко використовується в зарубіжній практиці корпоративного управління. Цей універсальний метод особливо ефективний при аналізі переваг і недоліків туристичного ринку країни (регіону, міста). На основі результатів стратегічного аналізу виробляються пріоритети розвитку туризму, а також в частині стратегії протидії негативним факторам. SWOT-аналіз допомагає з'ясувати обставини, за яких розвивається туристичний ринок, збалансувати вплив внутрішніх переваг і недоліків із впливом сприятливих можливостей і загроз [23, с. 43].

Скорочення SWOT походить від перших літер англійських слів Strengths (сили), Weaknesses (слабкості), Opportunities (можливості), Threats (загрози) [21]. В процесі SWOT-аналізу виявляються загрози та можливості, які можуть виникнути у зовнішньому середовищі, а також сильні та слабкі сторони, якими володіє об'єкт дослідження. Зробивши SWOT-аналіз, можна буде визначити основну стратегію розвитку туризму в регіоні і конкретні напрямки стимулювання розвитку цієї галузі, як найдинамічнішої, високорентабельної, екологічно чистої, низькоенергоємної [20, с. 437]. На основі SWOT-аналізу рекреаційно-туристичного потенціалу можна надати рекомендації щодо розвитку найбільш прибуткового виду туризму для регіону

Перед проведенням оцінки наявного туристично-рекреаційного потенціалу, необхідно визначити основні групи факторів, що впливають на розвиток туризму та рекреації. Проаналізувавши роботи багатьох дослідників даної сфери, можна зробити висновок, що усю сукупність умов та факторів розвитку туристично-рекреаційного комплексу можна об'єднати в три великі групи:

1. Туристично-рекреаційні ресурси;
2. Туристично-рекреаційні потреби;
3. Економічні можливості суспільства (або певного регіону).

Туристично-рекреаційні ресурси – закономірні поєднання компонентів природи, соціально-економічних умов та культурних цінностей, які на даному рівні розвитку продуктивних сил виступають як передумови задоволення туристично-рекреаційних потреб людини та організації господарського комплексу, що спеціалізується на туристично-рекреаційному обслуговуванні населення [20]. Житомирська область займає провідне місце в Україні за запасами лісових ресурсів. У 2021 році державними лісогосподарськими підприємствами проведено відтворення лісів на площі 8155 га, з них методом садіння і висівання лісу створено 6239 га лісових культур і на площі 1916 га проведено природне поновлення [4]. Рослинний світ Житомирщини характеризується великою різноманітністю флористичних комплексів і має велике народногосподарське значення. Налічується близько 1550 видів, із яких 13 видів підлягають особливій охороні за Бернською конвенцією (1979); 4 види занесені до Європейського червоного

списку рідкісних видів, які зникають у Всесвітньому масштабі (1991); 99 видів занесені до Червоної книги України (2009) тощо [23]. Тваринний світ Житомирщини відрізняється значним розмаїттям складу. На території області багато унікальних природних комплексів, де водяться рідкісні і зникаючі види тварин.

Одним із головних і ефективних методів збереження біорізноманіття на території Житомирської області є створення природоохоронних територій. Станом на 01.01.2021 р. до складу природно-заповідного фонду Житомирської області входить 263 об'єкти загальною площею 141606,9924 га, з них загальнодержавного значення – 20 об'єктів загальною площею 57940,04 га та місцевого значення – 243 об'єкти загальною площею 83666,9524 га. Відсоток заповідності становить 4,75 % [23]. На території Олевського та Овруцького районів розмішується найбільший в Україні за площею Поліський природний заповідник, загальною площею 20104 га. Варто зазначити, що на теперішній час більшість об'єктів природно-заповідних фондів Житомирської області практично не виконують покладених на них рекреаційних функцій та фактично не задіяні у процесі популяризації та розвитку туризму.

В області знаходяться водно-болотні угіддя міжнародного значення «Поліські болота» загальною площею 2,145 га. На території Житомирської області налічується три гідрологічні заказники. Бальнеологічні ресурси представлені радоновими лікувальними водами, торфовими та сапропелевими лікувальними грязями [14].

Туристично-рекреаційні потреби формуються під впливом таких чинників, як рівень доходів населення, культурно-освітній рівень, стан здоров'я. Для Житомирської області, як і України в цілому, характерні негативні демографічні тенденції (високий рівень смертності, низький рівень народжуваності, інтенсивний процес старіння населення, зростання демографічного навантаження на працездатне населення, зростання захворюваності населення). Несприятлива демографічна ситуація призводить до постійного збільшення частки людей похилого віку зі специфічними рекреаційними потребами. Показник загального коефіцієнта народжуваності знизився за останні п'ять років у 1,5 разів, показник смертності є одним із найвищих по Україні. Середня очікувана тривалість життя в області найнижча по регіонах у 2021 році. Житомирська область одна із найстаріших у демографічному відношенні областей України та відноситься до регіонів з несприятливою демографічною ситуацією щодо її впливу на захворюваність та стан здоров'я населення. Таким чином, основною рекреаційною потребою населення області все більше стає потреба в лікуванні. Задовольняється ця потреба, за оцінками спеціалістів, лише менш як на 10 %. Щодо рівня доходів, то середня заробітна плата по області наближається до найнижчих показників – 8528 гривень.

Економічні умови та ресурси Житомирської області сприяють нарощуванню потенціалу для розвитку туризму. Житомирська область розташована в межах Поліської низовини на півночі та в межах Придніпровської височини на півдні України. На півночі межує з Гомельською областю Білорусі, на сході з Київською, на півдні з Вінницькою, на заході з Хмельницькою та Рівненською областями України. Адміністративним центром є місто Житомир. Житомирська область входить у п'ятірку найбільших за площею областей України. Площа області становить 29, 9 тис. км², що складає 4,9 % території України. Житомирська область є придатним місцем для організації екологічного туризму. Регіон характеризується різноманітністю природних і природних антропогенних ландшафтів, що дозволяють охопити різні за змістом і змістом аспекти взаємодії людини і природи, належить до регіонів давнього господарського освоєння, де підтримання екологічної рівноваги забезпечувалося місцевою системою життя, виробленою століттями шляхом проб і помилок.

Питома вага туристично-екскурсійних послуг у структурі платних послуг протягом останніх років міцно займає передостаннє місце і становить лише 0,3 % від загального обсягу, що свідчить про нерозвиненість туристичної галузі в Житомирській області.

Отже, можна зробити висновок, що Житомирська область має значний культурно-історичний та достатньо великий природно-туристичний потенціал, але незважаючи на це, Житомирська область не належить до постійних та безперечних лідерів за показниками розвитку туристичної галузі. Як показало дослідження туристично-рекреаційних ресурсів Житомирської області, наразі вони використовуються у недопустимий спосіб та не сприяють національно-культурному відродженню регіону. Аналіз сучасних тенденцій розвитку індустрії туризму показує, що починаючи з 2020 року підприємства туристичного сектору постійно перебували під негативним тиском факторів зовнішнього середовища. Так, значної шкоди розвитку туристичного бізнесу в Україні завдали заходи щодо подолання наслідків пандемії COVID-2019, які суттєво ускладнили процедури переміщення громадян як в межах певної країни, так і можливості міжнародного туризму внаслідок запровадження значних «ковідних» обмежень щодо пресування громадян між країнами. В той же час, жорсткі візові обмеження, запровадження COVID-паспортів та інших адміністративних обмежень в країнах Європейського Союзу дозволило вітчизняному туристичному сектору збільшити кількість іноземних туристів в Україні, Так, за даними Державного агентства розвитку туризму у першому півріччі 2021 року відбувалося значне зростання кількості іноземних туристів до України (приріст 9 % в порівнянні з другим

півріччям 2020 року). Ще більшої шкоди для індустрії туризму завдала військова агресія РФ, внаслідок чого значна кількість представників туристичної бізнес-індустрії припинили своє існування, або ж значно знизили обсяги надання туристичних послуг. У таких реаліях активізація внутрішнього туристичного напрямку має високу перспективність та колосальне значення, як для населення так і для наповнення місцевих та обласних бюджетів.

Дієвим інструментом процесу управління стійким розвитком регіонів є SWOT-аналіз, а туристично-рекреаційна діяльність відіграє важливу роль в системі регіонального розвитку, забезпечуючи раціональне використання і збереження природно-екологічних, культурно-історичних та інформаційно-пізнавальних ресурсів території. Так, за допомогою SWOT-аналізу було визначено можливості та загрози розвитку туристично-рекреаційної галузі у Житомирській області та визначено слабкі та сильні сторони туристично-рекреаційного потенціалу.

Для аналізу можливостей та загроз було обрано такі фактори: транспортна інфраструктура області; туристична інфраструктура області; розвиток нових видів туризму; розвиток сфери послуг (харчування, розміщення, розваги); міжнародні зв'язки; розвиток фінансових інститутів; децентралізація влади; розвиток громадянського суспільства; дотримання вимог чинного законодавства в галузі туризму; ситуація в країні; політико-економічна ситуація в області; нормативно-правова база у галузі туризму; державна підтримка туристичних підприємств; високий рівень конкуренції в галузі туризму (див. табл. 1).

Таблиця 1

Аналіз можливостей та загроз

Фактори	Сприятлива зміна (можливість)	Несприятлива зміна (ризики)
Інфраструктура області	-	+
Нові види туризму	+	-
Сфера послуг	-	+
Міжнародні зв'язки	+	-
Фінансовий розвиток	+	-
Децентралізація	+	-
Громадянське суспільство	+	-
Нормативно-правова база	-	+
Підтримка підприємств	+	-
Конкуренція а галузі	-	+

Аналізуючи отримані дані, дійшли висновку, що Житомирська область має більше можливостей, ніж ризиків розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу. Серед факторів, що сприятимуть сприятливим змінам є: розвиток нових видів туризму (наприклад: військовий туризм), міжнародні зв'язки, фінансовий розвиток регіонів, децентралізація, посилення ролі громадянського суспільства та підтримка підприємств.

Аналіз сильних та слабких сторін розвитку Житомирської області в галузі туризму був проведений за такими факторами: наявність потенціалу для розвитку туризму в області; наявність міжнародних транспортних сполучень; наявність засобів розміщення; вигідність географічного положення Житомирської області; природно-ресурсний потенціал; значна кількість туристичних об'єктів; сприятливі кліматичні умови; наявність значної мережі закладів харчування; наявність рекреаційних та водних ресурсів; ціна туристичного продукту; стандарти обслуговування; наявність кваліфікованих кадрів у галузі; інноваційно-інвестиційний розвиток; реклама (див. табл. 2).

Таблиця 2

Аналіз слабких та сильних сторін

Фактори	Сильні сторони	Слабкі сторони
Потенціал	+	-
Міжнародні транспортні сполучення	+	
Засоби розміщення	-	+
Географічне положення	+	-
Природно-ресурсний потенціал	+	-
Туристичні об'єкти	+	-
Стан довкілля	-	+
Заклади харчування	+	-
Рекреаційні та водні ресурси	+	-
Стандарти обслуговування	-	+
Кадри в галузі	-	+
Інновації та інвестиції	-	+
Реклама	-	+

Аналізуючи дані таблиці можемо зробити висновок, що Житомирська область має більше сильних сторін ніж слабких для розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу.

На основі отриманих даних було побудовано матрицю SWOT-аналізу рекреаційно-туристичного потенціалу Житомирської області (див. табл. 3).

Сильними сторонами розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу Житомирської області є: понад 500 одиниць туристичних об'єктів, географічне розташування, природно-ресурсний потенціал; міжнародні транспортні сполучення, адже територією області проходить безліч міжнародних автошляхів, шляхів обласного та районного значень. Слабкими сторонами розвитку рекреаційно-турис-

Таблиця 3

SWOT-аналіз рекреаційно-туристичного потенціалу Житомирської області

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Прикордонне розташування 2. Залізничне сполучення з Києвом, Львовом, Ужгородом, Харковом, Одесою, Сімферополем. 3. Природно-ресурсний потенціал області 4. Рекреаційні і водні ресурси 5. Велика лісистість та значні обсяги лісових ресурсів 6. Наявність природно-заповідного фонду, зокрема заповідників, заказників	1. Нерозвиненість інфраструктури на основних автомагістралях області (готельно-ресторанний та авторемонтний сервіс) 2. Низька якість сервісного обслуговування 3. Значна частина автошляхів потребує реконструкції і ремонту 4. Не повністю використані можливості міжнародної співпраці області, її районів і міст 5. Несприятливі наслідки аварії на ЧАЕС
Сприятливі можливості	**Можливі загрози**
1. Розвиток транспортної та прикордонної інфраструктури 2. Розвиток міжнародної співпраці в економічній та культурній сферах 3. Створення інституційних умов для розвитку територій і територіальних громад 4 4. Розвиток фінансової інфраструктури та інфраструктури підтримки туризму 5. Розширення мережі природно-заповідного фонду 6. Реалізація інвестиційних проектів на умовах співфінансування із державного бюджету 7. Нові види туризму 8. Дотримання вимог законодавства 9. Підтримка підприємств	1. Послаблення уваги центральних органів виконавчої влади до реалізації державної стратегії регіонального розвитку 2. Неефективні процеси реформування економіки 3. Посилення централізації органів державної влади 4. Нестабільна економічна і політична ситуація в Україні 5. Погіршення умов фінансування і кредитування 6. Подальше погіршення інфраструктури 7. Зменшення інвестицій в екологію та охорону навколишнього природного середовища

тичного потенціалу є: недостатня кількість інвестицій, адже інвестори не бачать перспективи вкладання коштів у галузь туризму, а також відсутність достатнього рівня інноваційного розвитку; ціна туристичного продукту залишається слабкою стороною через надто завищені ціни на деякі тури; стандарти обслуговування в області перебувають на низькому рівні і потребують удосконалення; реклама Житомирської області залишається на низькому рівні через те, що регіон не представляє себе на міжнародних та всеукраїнських заходах у повній мірі, відсутні інформації на інтернет-ресурсах; екологічний стан області сягає відмітки «задовільно» через функціонування в області багатьох промислових підприємств, які шкодять навколишньому середовищу.

Висновки та пропозиції. Отже, дані SWOT-аналізу рекреаційно-туристичного потенціалу свідчать про те, що розвиток нових видів туризму, напрацювання міжнародних зв'язків, розробка спільних проєктів з органами управління інших країн та участь у міжнародних заходах із туризму мають безперечні переваги і дають змогу залучати додаткові кошти для розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу регіону. А от, серед основних загроз розвитку рекреаційно-туристичного потенціалу є: незадовільний занедбаний стан туристичної інфраструктури області, недостатнє фінансування галузі туризму та відповідно повільний темп розвитку сфери послуг.

Шляхами та засобами вирішення головних проблем може бути: популяризація, рекламація та інформаційний супровід рекреаційного-туристичного потенціалу області; розроблення та реалізація туристичних маршрутів для відвідування об'єктів, що мають особливу культурну та історичну цінність; створення на території області сучасних рекреаційних зон, як органічної складової туристичної інфраструктури Житомирщини з використанням наявного потенціалу пам'яток і об'єктів культурної спадщини; розвиток туристичної інфраструктури; культурно-фестивальна, подієва, виставкова діяльність; проведення навчань, семінарів, форумів тощо для виховання туристичного етикету у працівників сфери обслуговування, розміщення та туризму; розвиток перспективних напрямів повоєнного відновлення сфери туризму, а саме започаткування «воєнного туризму», що включає відвідування історичних місць, стрільба з різних видів зброї; проживання в армійських умовах і участь у програмах військової підготовки, відвідання полігонів, катання на військовій техніці (за участю професійного супроводу та наявності страхового полісу з покриттям ризиків), тощо.

Органи місцевого самоврядування повинні заохочувати інвестиції в туристичну галузь шляхом створення сприятливих умов для діяльності підприємств і організацій. Підтримка підприємництва має сприяти розвитку мережі малих фірм, організацій і підприємств, здатних активізувати структурну перебудову туристичної галузі шляхом ефективного використання природних і рекреаційних ресурсів і об'єктів, вивчення ринку туристичних послуг, оперативного реагування. на свої потреби в умовах регульованих ринкових відносин.

Література

1. Андрієць О.С. Цільове використання пам'яток історико-культурної спадщини Житомирщини як передумова розвитку туризму в регіоні. *Актуальні проблеми, сучасний стан та перспективи розвитку індустрії туризму в Україні та Польщі: матеріали VI Міжнародної науково- практичної конференції*. Житомир, 2012. С. 173-176.
2. Андрушенко В.Ю. Значення та розвиток територіально-рекреаційної системи завдяки туризму. *Розвиток економічної системи в умовах глобалізації: Матеріали міжн. наук.-практ. конф.* Вінниця, 2014. С. 87-90.
3. Бакурова А.В. Оцінка рекреаційної привабливості регіону. *Економіка: проблеми теорії та практики. Збірник наукових праць*. Вип 183. Том ІІІ. Дніпропетровськ: ДНУ, 2003. С. 617-622.
4. Бейдик О. О. Рекреаційно-туристські ресурси України: методологія та методика аналізу, термінологія, районування. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2001. 395 с.
5. Биркович В. І. Модернізація туристичного та рекреаційного потенціалу регіонів України. Статистика України. 2006. № 3 (34). С. 83-86.
6. Величко В.В. Організація рекреаційних послуг: навч. пос. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2013. 202 с.
7. Виговська Н.Г., Саух І.В. Стратегічний розвиток туристичної галузі в Житомирській області. Житомир: Вісник ЖДТУ. 2018. № 2 (84). С. 118-124.
8. Влащенко Н.М. Потенціал санаторно-курортного комплексу: завдання дослідження і розвитку. *Збірник наукових праць Луцького національного технічного університету.* Економічні науки. Серія «Регіональна економіка». 2008. Випуск 5 (17). Ч.1. С. 21-28.
9. Всесвітня туристична організація: веб-сайт. URL: http://unwto.org (дата звернення: 30.07.2023)
10. Гайдук А. Оцінка туристичних ресурсів Львівської області та її практичне застосування. *Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Сталий розвиток та екологічна безпека (регіональна політика). Щорічник наукових праць.* Випуск 20. НАН України. Інститут регіональних досліджень. Львів, 2000. С. 200-212.
11. Головне управління статистики у Житомирській області : веб-сайт. URL: http://www.zt.ukrstat.gov.ua. (дата звернення: 29.07.2023)
12. Гордієнко П.Л. Стратегічний аналіз: навчальний посібник. Київ: Алерта. 2009. 404 с.
13. Давиденко І.В. Основні компоненти туристично-рекреаційного потенціалу. Соціально-економічні проблеми сучасності та концепція сталого розвитку в Україні та світі: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Дніпропетровськ: НО «Перспектива», 2014. Ч. 2. С. 49-52.
14. Дунаєвська О.Ф., Козловський О.Ю. Перспективи розвитку релігійного туризму на Житомирщині: веб-сайт. URL: http://www.geolgt.com.ua/images/stories/zbirnik/vipusk18/v1825.pdf. (дата звернення: 28.07.2023)
15. Екологічний паспорт Житомирської області: веб.сайт. URL: http://www.menr.gov.ua/docs/ (дата звернення: 28.07.2023)
16. Жук І.З. Нормативно-правове регулювання діяльності суб'єктів туристичної галузі в Україні. *Економіка. Управління. Інновації.* 2013. Вип. № 2 (10). С. 23-31.
17. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 р. *Відомості Верховної Ради України.* Київ, 2002. № 3-4. С. 27.
18. Копець Г.Р. Актуальні проблеми розвитку логістики туризму в Україні. Логістика. 2007. № 594. С. 436–441., с. 437
19. Романенко О. Чотири мандрівки Житомирщиною: путівник. Київ: Грані-Т, 2008. 72 с.
20. Семенов В.Ф. Регіональний вимір рекреаційно-туристичної діяльності: монографія. К.: Фенікс, 2008. 201 с.
21. Стратегічне управління корпораціями: навч. посіб. Київ: «Центр учбової літератури». 2016. 480 с.
22. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Житомирської області у 2021 році: веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-ZHytomyrska-ODA-2021.pdf
23. Фролова В.Ю. SWOT–аналіз конкурентоспроможності туристичного ринку України. Вісник БУМіБ. 2015. № 1. С. 42-46. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vbumb_2015_1_10.

ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОГО ТА ЛАНДШАФТНОГО РІЗНОМАНІТТЯ

УДК 582. 998.1 (477.42)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.26

СЕЗОННІ РИТМИ РОЗВИТКУ *SERRATULA CORONATA* L. ЗА КУЛЬТИВУВАННЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМУ ПОЛІССІ УКРАЇНИ

Іващенко І.В., Котюк Л.А., Бакалова А.В., Грицюк Н.В.
Поліський національний університет
бульв. Старий, 7, 10008, м. Житомир
kalateja@ukr.net, kotyukla@ukr.net, bakalova1970@ukr.net, ngritsyuk@ukr.net

Серпій увінчаний – багаторічна трав'яна рослина родини Asteraceae, що містить широкий спектр біологічно активних речовин: фітоекдистероїди, флавоноїди, дубильні речовини, кумарини, сесквітерпенові лактони, каротиноїди, аскорбінову кислоту. В Ботанічному саду Поліського національного університету, що належить до зони Центрального Полісся України, нами створена інтродукційна популяція серпію увінчаного (*Serratula coronata* L.). Впродовж 2013–2017 рр. досліджено сезонні ритми розвитку інтродуцента. Проведено розрахунок суми ефективних температур, вищих за 5°С, необхідних для проходження певної фази розвитку та загалом для життєвого циклу серпію увінчаного. Встановлено, що в умовах Центрального Полісся України генеративні рослини *S. coronata* 2–5 років життя вегетували впродовж 159–178 діб за суми ефективних температур 1873,5–2082,2°С. Сіянці першого року життя проходили лише прегенеративний період розвитку і завершували вегетацію у віргінільному віковому стані, вступаючи у генеративний період лише на другий рік життя. Сходи з'являлись в першій декаді травня за суми ефективних температур 191–232,2°С. Закінчення вегетації рослин першого року життя відмічено в третій декаді вересня, тривалість вегетаційного періоду становила 145 діб. Весняне відростання генеративних рослин серпію увінчаного другого-п'ятого років життя розпочиналось у третій декаді березня – першій декаді квітня за суми ефективних температур 25,2–31,9°С. Початок фази бутонізації фіксували у I–III декадах червня за суми ефективних температур від 508,8 до 787,2°С. Початок квітування відмічено у I–II декаді липня за суми ефективних температур 892,2–1278,9°С. Фаза плодоношення розпочиналась від кінця липня – I декади серпня за суми ефективних температур 1300,4–1675,9°С. Активний період плодоношення інтродуцентів спостерігався у III декаді серпня. Насіння збирали у третій декаді серпня – першій декаді вересня. Фаза відмирання надземної вегетативної маси розпочиналась за суми ефективних температур 1534,7–1803,2°С, завершення вегетації відмічено у I–II декаді вересня. Терміни настання фенологічних фаз, що відображають сезонний розвиток, значною мірою залежать від абіотичних чинників середовища зростання – температури та водозабезпечення. Інтродуценти проходили прегенеративний, генеративний періоди онтогенезу, формували життєздатне насіння. Біологічні потреби інтродуцента в тривалості вегетаційного періоду й термічного режиму повністю відповідають природним умовам Центрального Полісся України, що підтверджує перспективність рослин *S. coronata* для культивування в цьому регіоні. *Ключові слова: Serratula coronata* L., фенологічні фази, сезонні ритми, Центральне Полісся України.

Seasonal rhythms of plant development of *Serratula coronata* L. cultivated in Central Polissya of Ukraine. Ivashchenko I., Kotiuk L., Bakalova A., Hrytsiuk N.

Serratula coronata L. is a perennial herbaceous plant of the Asteraceae family, which contains a wide range of biologically active substances: phytoecdysteroids, flavonoids, tannins, coumarins, sesquiterpene lactones, carotenoids, ascorbic acid.

In the Botanical Garden of Polissia National University, which belongs to the Central Polissia zone of Ukraine, was created a population of introduced plants of *Serratula coronata* L. From 2013 to 2017 seasonal rhythms of the introduced plants' development were studied. We calculated the effective heat sum above 5°C, required for a certain phase of development and for the plants life cycle in general. The observations showed that under conditions of Central Polissia of Ukraine, 2-5-year-old generative plants of *S. coronata* vegetated for 159–178 days at the effective heat sums of 1873.5–2082.2°C. Seedlings of the first year of life only went through the pregenerative period of development and completed vegetation in a virginal age state, entering the generative period only in their second year. Seedlings appeared in early May at the effective heat sums of 191–232.2°C. The vegetation of one-year-old plants lasted up to late September, the duration of the vegetation period being 145 days.

The spring growth of 2–5-year-old generative plants began in late March – early April at the effective heat sums of 25.2–31.9°C. The beginning of the budding phase was recorded in early – mid June at the effective heat sums from 508.8 to 787.2°C. The flowering phase began in the early- mid July at the effective heat sums of 892.2–1278.9°C. The fruiting phase started in late July – early August at the effective heat sums of 1300.4–1675.9°C. The active period of fruit bearing of the introduced plants occurred in late August. Seeds were collected in late August – early September. The phase of fading of aboveground vegetative mass began at the effective heat sums of 1534.7–1803.2°C, the end of vegetation was noted in early – mid September. The timings of phenological phases that reflect seasonal development depend largely on temperature and water supply. The introduced plants went through pre-generative and generative periods of ontogenesis, and formed viable seeds. The biological needs of the introduced plants for the growing season duration and the thermal regime fully correspond to the natural conditions of Central Polissia of Ukraine, which confirms that cultivation of *S. coronata* in this region is rather promising. *Key words: Serratula coronata* L., seasonal rhythms, phenological phases, Central Polissia of Ukraine.

Постановка проблеми. В зв'язку із зростанням як в нашій країні так у всьому світі інтересу до фармацевтичних препаратів із рослинної сировини, важливе значення має вивчення інтродукційних ресурсів та мобілізація видів як цінних лікарських рослин з високим вмістом БАР, в тому числі із родини Айстрових.

Актуальність дослідження. Застосування серпію увінчаного (*Serratula coronata*) у фармації як природного джерела фітоекдистероїдів є перспективним та потребує глибокого вивчення його еколого-біологічних особливостей, зокрема, сезонних ритмів розвитку рослини в умовах культури, які є невід'ємною частиною інтродукційних досліджень. У зв'язку з відсутністю відомостей щодо адаптивних властивостей *S. coronata* за інтродукції в умовах Центрального Полісся метою наших досліджень було вивчення сезонних ритмів розвитку інтродуцента залежно від абіотичних умов середовища зростання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. *S. coronata* L. – багаторічна трав'яна рослина родини Asteraceae, поширена в Середній Азії, Східній Європі, Східному і Західному Сибіру, на Далекому Сході та Кавказі [1; 2; 3; 4]. В дикому стані в Україні *S. coronata* зустрічається на сухих луках, по узліссях, в чагарниках північної частини Степу, у Лісостеповій зоні та південній частини Полісся [3; 5]. Рослина містить широкий спектр біологічно активних речовин: фітоекдистероїди, флавоноїди, дубильні речовини, кумарини, сесквітерпенові лактони, каротиноїди, аскорбінову кислоту [6; 7; 8]. Фітоекдистероїди являють собою велику групу полігідроксильованих стероїдів, які виявляють анаболічну, адаптогенну, антиоксидантну, мембраностабілізуючу, гепато-, нейро- та нефропротекторну, антиаритмічну, імуномодулюючу, гіпоглікемічну і гіпохолестеролемічну властивості, а також характеризуються низькою токсичністю [9]. Рослина широко використовується в народній медицині для терапії новоутворень, запалень, гіперхолестеринемії та гіпоімунних розладів, неврозів, епілепсії, психічних захворювань, анемії, в якості ранозагоювального, антимікробного засобу, в науковій медицині – як гемореологічний, імуномодулюючий, адаптогенний, антидепресантний, антиоксидантний засіб [10; 11; 12]. На основі серпію увінчаного створений адаптогенний препарат «Екдифіт».

В літературних джерелах відсутня інформація щодо вивчення сезонних ритмів розвитку серпію увінчаного в умовах культури в Україні, а дослідження зарубіжних вчених загалом спрямовувались на вивчення біохімічного складу фітосировини інтродуцента.

Наукова новизна. Вперше досліджено сезонні ритми розвитку серпію увінчаного в умовах Центрального Полісся України. Наведено суми ефективних температур, необхідних для проходження фенологічних фаз інтродуцентом та представлено його фенологічні спектри сезонного розвитку.

Методологія дослідження. Предметом досліджень слугували рослини *S. coronata*. Вихідний насінний матеріал отримано із колекції рослин відділу культурної флори Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України. Особливості сезонних ритмів росту і розвитку *S. coronata* вивчали упродовж 2013–2017 рр. в Ботанічному саду Поліського університету, що належить до зони Центрального Полісся України. Ґрунт ботанічного саду дерново-карбонатний. Вміст гумусу (за Тюрином) – 2,39±0,01 %, *Ph*-сольове гумусового горизонту – від 7,2±0,10; вміст P_2O_5 – 332,67±18,87 мг/кг; K_2O – 128,67±26,9 мг/кг (за Кирсановим), N_k (за Корнфілдом) – від 63,0±10,1 мг/кг грунту. Екологічні умови району ботанічного саду типові як для Центрального Полісся України, помірно-континентальний клімат в цілому сприятливий для вирощування різноманітних видів рослин, в тому числі серпію увінчаного. Вплив температурних умов аналізували за сумою ефективних температур вище 5°С за рекомендаціями А. М. Польового та ін. [13]. Кліматичні умови впродовж досліджень представлені на рис. 1.

Викладення основного матеріалу. Стратифіковане насіння *S. coronata* висівали у третій декаді квітня. Поодинокі сходи з'являлися через 7–10 діб після сівби за суми ефективних температур 191–232,2°С. Сіянці першого року життя проходили лише прегенеративний період розвитку і вступали у ювенільний, іматурний та віргінільний вікові стани. Інтродуценти першого року життя завершували вегетацію у віргінільному віковому стані, вступаючи у генеративний період лише на другий рік життя. Закінчення вегетації рослин першого року життя відмічено в третій декаді вересня, тривалість вегетаційного періоду – 145 діб. Періоди онтогенезу та вікові стани серпію увінчаного за умов зростання в Центральному Поліссі України детально висвітлені нами в праці «Біоморфологічні особливості *Serrratula coronata…*» [14].

Весняне відростання серпію увінчаного другого-п'ятого років життя розпочиналось у третій декаді березня – першій декаді квітня за суми ефективних температур 25,2–31,9°С (табл., рис. 2). Фаза бутонізації розпочиналась у I–III декадах червня за суми ефективних температур від 508,8 до 787,2°С. Початок квітування відмічено у I–II декаді липня за суми ефективних температур 892,2–1278,9°С (табл. 1, рис. 2). Фаза плодоношення інтродуцентів розпочиналась від кінця липня – I декади серпня за суми ефективних температур 1300,4–1675,9°С. Активний період плодоношення рослин спостерігався у III декаді серпня.

Насіння збирали у третій декаді серпня – першій декаді вересня. Фаза відмирання надземної вегетативної маси розпочиналась за суми ефективних

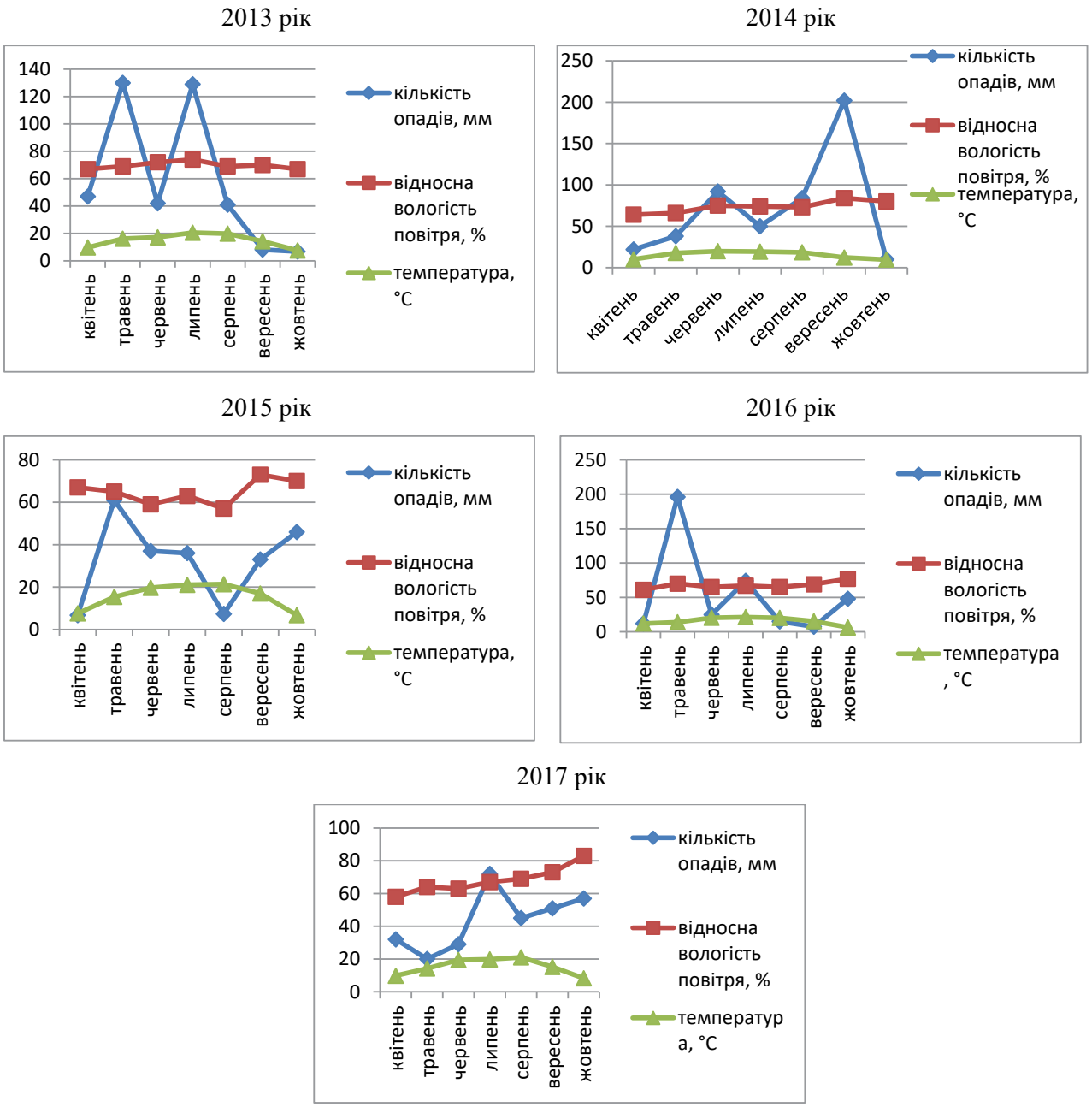


Рис. 1. Метеодані умов досліджень (м. Житомир) упродовж 2013–2017 рр.

температур 1534,7–1803,2°С, завершення вегетації відмічено у I–II декаді вересня. Слід зазначити, що інтродуценти першого року життя завершували вегетацію пізніше – у третій декаді вересня, що узгоджується з дослідженнями С. О. Четверні [15]. Для проходження повної вегетації генеративних рослин серпію увінчаного від весняного відростання до закінчення вегетації необхідна сума ефективних температур в діапазоні від 1873,5 до 2082,2 (табл. 1).

Кліматичні умови впродовж досліджень вирізнялись коливанням температур і кількістю опадів, що безумовно вплинуло на тривалість вегетації (див. рис. 1, 2). Найтриваліший вегетаційний період відмічено у рослин другого року життя, що пояснюється віковими особливостями розвитку інтродуцента та впливом кліматичних умов. Згідно літературних джерел, тривалість вегетаційного періоду та сума активних, ефективних температур, необхідних для життєвого циклу рослин залежать від погодно-кліматичних умов року, біоекологічних особливостей виду, агротехнічних умов вирощування [16].

В літературних джерелах обмежені відомості щодо сезонних ритмів розвитку серпію увінчаного в умовах культури. Опис фенологічних фаз розвитку виду в природних місцезростаннях в Полтавській області наведено в праці С. О. Четверня та ін. [15]. Тривалість вегетаційного періоду генеративних рослин в природних місцезростаннях в Полтавській

Таблиця 1

Сума ефективних температур, необхідна для проходження фенологічних фаз розвитку серпію увінчаного 2–5 років життя (> 5°С)

Фази розвитку	Рік				Середнє
	2014	2015	2016	2017	
Вегетативна (весняне відростання)	31,9	31,2	29,7	25,2	29,5
Бутонізація	681,8	508,8	787,2	594	643
Квітування	1123,5	892,2	1278,9	1065,9	1090,1
Плодоношення	1446,2	1300,4	1675,9	1329,4	1438
Відмирання	1788,5	1534,7	1803,2	1653,4	1695
Всього за вегетаційний період	2047,9	1873,5	2082,2	1881,2	1971,2

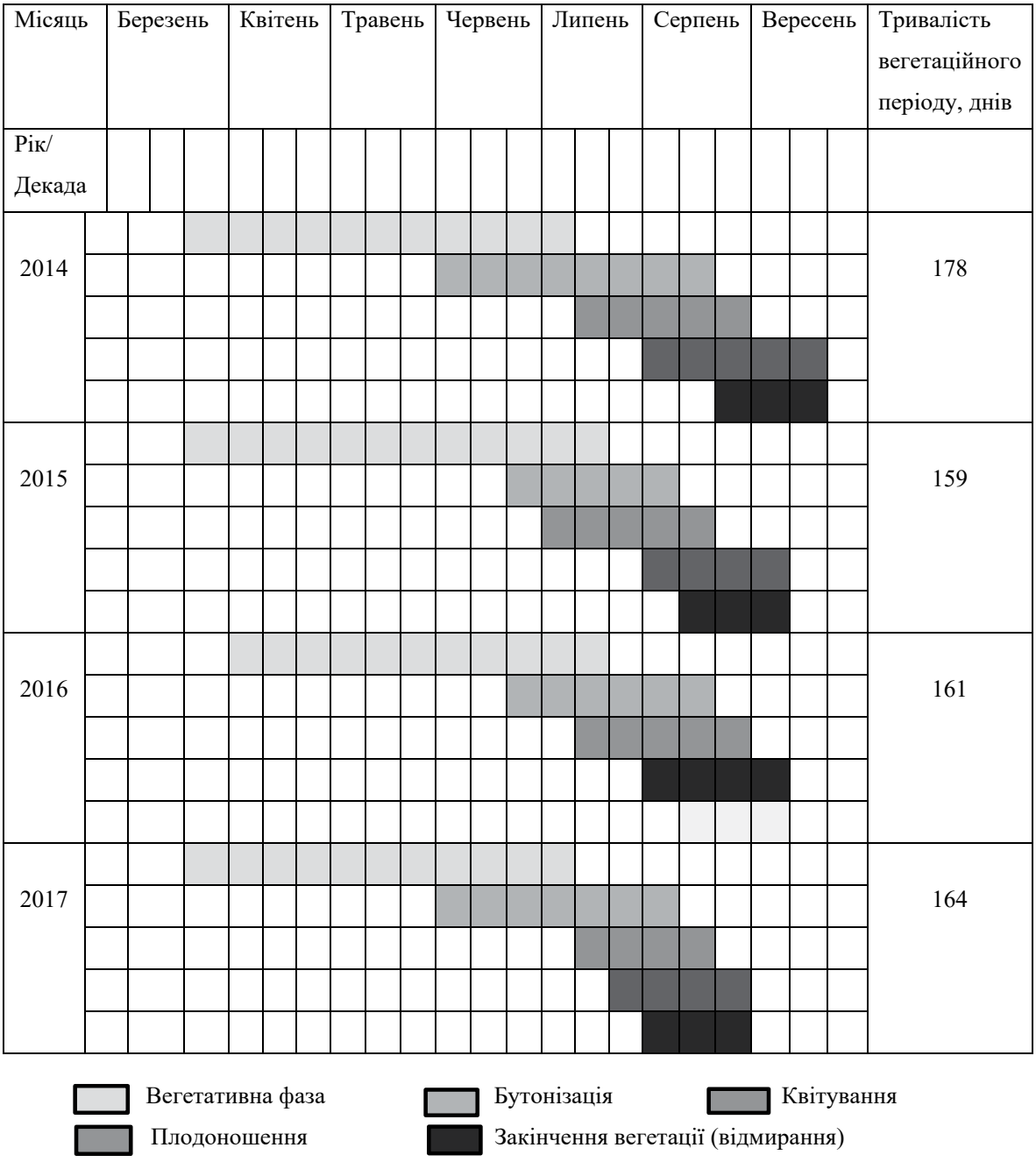


Рис. 2. Фенологічні спектри сезонного розвитку генеративних рослин серпію увінчаного в умовах Центрального Полісся України (2014–2017 рр.).

області становила 144–175 діб, що загалом узгоджується з результатами наших досліджень – 159–178 діб.

Висновки. В умовах Центрального Полісся України генеративні рослини *S. coronata* 2–5 років життя вегетували впродовж 159–178 діб за суми ефективних температур 1873,5–2082,2°С. Інтродуценти проходили прегенеративний, генеративний періоди онтогенезу, формували життєздатне насіння. Отже, біологічні потреби інтродуцента в тривалості вегетаційного періоду й термічного режиму повністю відповідають природним умовам Центрального Полісся України.

Література

1. Флора УРСР: У 12 т. Т. 4 / за ред. О. Д. Васюліної. Київ: Вид-во АН УРСР, 1962. 589 с.
2. The Plant List 2014 *Serratula coronata* L. In: The plant list. A working list of all plant species. URL: http://Key-2709751. Accessed: April 2014.
3. Четверня С. О., Джуренко Н. І., Паламарчук О. П., Грахов В. П. Насінна та сировинна продуктивність *Serratula coronata* L. та *Serratula tinctoria* L. *Біологічні системи*. 2015. Т.7, вип. 2. С. 222–228.
4. Huseynova A. Y., Aghayeva P. N., Qarakhani P. Kh., Ali-Zade V. M. Serratula coronata (Asteraceae) – a new species record for the flora of Azerbaijan. *Український ботанічний журнал*. 2019. Т. 76, № 1. P. 67–70. doi: https://doi.org/10.15407/ukrbotj76.01.067
5. Марчишин С. М., Атаманчук Т. О., Рахметов Д. Б., Сіра Л. М. Морфолого-анатомічне дослідження листків серпію увінчаного (*Serratula coronata* L.). *Фармацевтичний часопис*. 2018. № 3. С. 17–21. doi: 10.11603/2312-0967.2018.3.9343
6. Antioxidative and free radical scavenging effects of ecdysteroids from Serratula strangulata / YJ Cai, QY Wei, JG Fang, L Yang et al. *Canadian J.of Physiology and Pharmacology.* 2002. Vol. 80, No 12. P. 1187-1194. doi: 10.1139/y02-152. PMID: 12564645.
7. Ivashchenko I., Ivashchenko O., Rakhmetov D. Phenolic Compounds in *Serratula* improving nutrition, health and life quality. The scientific proceeding of international network AgroBioNet. Nitra, 2016. P. 149–154.
8. Іващенко І. В., Рахметов Д. Б., Вергун О. М. Біохімічні особливості інтродукованої популяції *Serratula coronata* L. (Asteraceae) у Центральному Поліссі України. *Plant Varieties Studying and Protection.* 2019. Т15, № 2. P. 200–2005. https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.2.2019.173574
9. Bajguz A., Bakata I., Talarek M. Ecdysteroids in plants and their pharmacological effects in vertebrates and humans. *Studies in Natural Products Chemistry.* 2015. Vol. 45. P. 121–145.
10. Ivashchenko I. V. Antimicrobial activity of ethanolic extracts of *Serrarula coronata* L. (*Asteraceae*) introduced in Zhytomyr Polissya. Biological Bulletin of Bogdan Chmelnitskiy Melitopol State Pedagogical University. 2016. Vol. 6, No1. P. 290–303. http://dx.doi.org/10.15421/201616
11. Antidepressant effect and recognition memory improvement of two novel plant extract combinations – antistress I and antistress II on rats subjected to a model of mild chronic stress / IK Kandilarov, HI Zlatanova, MT Georgieva-Kotetarova et al. *Folia Med* (Plovdiv). 2018. Vol. 60, Iss. 1. P. 110–116. doi: 10.1515/folmed-2017-0073.
12. Phytoecdysteroids from *Serratula coronata* L. for Psoriatic Skincare / A. Kroma, M. Pawlaczyk, A. Feliczak-Guzik et al. 2022; Vol. 27, No 11. Article 3471. doi:10.3390/molecules27113471
13. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В. Основи агрометеорології: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: Видництво ТЕС, 2012. 250 с.
14. Іващенко І. В., Рахметов Д. Б. Біоморфологічні особливості *Serrratula coronata* L. (Asteraceae) за умов інтродукції в ботанічному саду ЖНАЕУ. *Modern Phytomorphology.* 2016. Vol. 10. P. 71–82. doi:10.5281/zenodo.155363
15. Четверня С. О., Лобач С. М., Лещенко С. М. Сезонний ритм розвитку *Serratula coronata* L. в природних місцезростаннях. Біологічні дослідження – 2019: Збірник наукових праць. – Житомир: «Полісся», 2019. 436с.
16. Рахметов Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. К.: Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.

УДК 579.6+631.8
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.27

ВПЛИВ ПРАЙМУВАННЯ МЕТАБОЛІТАМИ РІСТ-СТИМУЛЮВАЛЬНИХ БАКТЕРІЙ НА РОЗВИТОК РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Котляр М.М.[1,2], **Калініченко О.О.**[1], **Маслак В.І.**[1], **Охмат О.А.**[1], **Юнгін О.С.**[1,3,4]
[1]Київський національний університет технологій та дизайну
вул. Мала Шияновська, 2, 01001, м. Київ
[2]АО «Фармак»
вул. Кирилівська, 63, 04080, м. Київ
[3]Інститут молекулярної біології і генетики Національної академії наук України
вул. Академіка Заболотного, 150, 03680, м. Київ
[4]Університет Вітовта Великого
K. Donelaičio g. 58, 44248, Каунас, Литва
nikolajkotlar43@gmail.com, kalinichenko742135@gmail.com,
vbelfayr@gmail.com, oxmat.oa@knutd.edu.ua, olgaungin@gmail.com

Розвиток мікробних технологій стимуляції росту та захисту рослин створює передумови пошуку перспективних ізолятів та способів їх застосування у сільському господарстві. Ріст-стимулювальні мікроорганізми можуть встановлювати корисні симбіотичні взаємини з рослинами, полегшуючи поглинання поживних речовин, покращуючи структуру ґрунту та захищаючи від різних патогенних мікроорганізмів. Однак, потенціал мікроорганізмів у стимулюванні росту рослин залишається предметом досліджень як у фундаментальній, так і в прикладній науці**.** Метод праймування насіння використовується для підвищення проростання насіння як за оптимальних, так і за стресових умовах. Дослідження присвячене виявленню впливу метаболітів ріст-стимулювльних бактерій на ріст та розвиток рослин пшениці озимої за умови короткотермінового праймування насіння. В дослідженні використовували три ізоляти ризосфери пшениці для виявлення ріст-стимулювальних властивостей (здатність рости на безазотному середовищі, мобілізувати нерозчинні сполуки фосфатів, синтезувати циклічні ліпопептиди та індоліл-3-оцтову кислоту) та використання їх вільних від клітин культуральних рідин для праймування насіння пшениці озимої сорту Смуглянка. Один зі штамів був охарактеризований як фосфат-мобілізуючий суперпродуцент ІОК, і є перспективним для використання з метою розробки біопрепаратів для сільського господарства. Праймування насіння метаболітами бактерій підвищувало опушеність коренів та товщину пагонів при проростанні насіння, що може сприяти покращенню стабільності та утримання рослини в ґрунті. Однак, водночас, така реакція на ранніх стадіях розвитку може бути відповіддю рослини на стрес. Необхідно проведення додаткових досліджень для виявлення оптимального часу праймування та дослідження ефектів праймування на різні сорти пшениці озимої. *Ключові слова:* ріст-стимулювальні бактерії, праймування насіння, пшениця озима.

Effect of priming with metabolites of growth-promoting bacteria on winter wheat plants development. Kotlyar M., Kalinichenko O., Maslak V., Okhmat O., Iungin O.

The development of microbial technologies for plant growth stimulation and protection creates the foundation for screening of industrially-promising isolates and their application methods in agriculture. Growth-promoting microorganisms can establish beneficial symbiotic interactions with plants, facilitating nutrient uptake, improving soil structure, and protecting against various pathogenic microorganisms. However, the potential of microorganisms in plant growth promotion remains a subject of investigation in both fundamental and applied sciences. Seed priming is a method used to enhance seed germination under both optimal and stressful conditions. This study focuses on exploring the effects of metabolites from growth-promoting bacteria on the growth and development of winter wheat plants through short-term seed priming. Three wheat rhizosphere isolates were used to evaluate growth-promoting properties, including the ability to grow in nitrogen-free media, mobilize insoluble phosphate compounds, synthesize cyclic lipopeptides, and produce indole-3-acetic acid (IAA). Their cell-free culture liquids were applied for seed priming of winter wheat seeds of the Smuglyanka variety. One of the strains was characterized as a phosphate-mobilizing bacteria and superproducer of IAA showed potential for developing bio-preparations for agriculture. Seed priming with bacterial metabolites resulted in increased root hairiness and shoot thickness during seed germination, which may contribute to improved stability and anchorage of the plant in the soil. However, such early-stage responses might also indicate plant stress. Further research is needed to identify the optimal priming time and investigate the effects of priming on different winter wheat varieties. *Key words:* growth-promoting bacteria, seed priming, winter wheat.

Поставновка проблеми. Розвиток екологічно чистих та стійких сільськогосподарських практик набуває все більшої важливості на світовому рівні. Зі зростанням світового населення та забезпеченням продовольчої безпеки, існує високий попит на «зелені» технології хімії для підвищення урожайності [1]. В цьому контексті мікробні технології стали передовими напрямками досліджень та розвитку використання мікроорганізмів, що сприяють росту рослин та їх метаболітів, здатних покращувати

родючість ґрунту та стимулювати ріст рослин [2, 3]. Ці мікроорганізми можуть встановлювати корисні симбіотичні взаємини з рослинами, полегшуючи поглинання поживних речовин, покращуючи структуру ґрунту та захищаючи від різних патогенних мікроорганізмів [4]. Відомо, що МСРР (мікроорганізми, що сприяють росту рослин) стимулюють ріст рослин шляхом різних механізмів [5-7]. Для підвищення врожайності культур, ці штами МСРР можуть застосовуватися різними способами. Наприклад, один з них – це пряма інокуляція чистими штамами або змішаними угрупуваннями МСРР або спільне застосування МСРР та хімічних речовин, таких як азотні добрива, а другий – це попереднє праймування насіння.

Актуальність дослідження. Останній згаданий метод використовується для підвищення проростання насіння як при оптимальних, так і при стресових умовах. Цікаво, що позитивний вплив передпосівного обприскування насіння був помічений більш виразно в умовах стресу, ніж в контрольних зразках [8]. Однак потенціал мікроорганізмів у стимулюванні росту рослин залишається предметом досліджень як у фундаментальній, так і в прикладній науці [9]. Посуха є одним з найважливіших екологічних факторів, який стримує фотосинтез і зменшує зростання та продуктивність рослин. Чутливість сільськогосподарських культур, таких як пшениця, до ґрунтової посухи має особливо значний вплив під час фази репродукції [10]. Зі збільшенням глобального потепління посухи будуть відбуватися частіше, триватимуть довше та будуть більш інтенсивними на південному і західному узбережжі Європи, тоді як умови посухи стануть менш екстремальними на північному та північно-східному узбережжі. Із підвищенням температури на 3°C до 2100 року збитки від посухи можуть бути в 5 разів вищими порівняно з сучасним станом, а найсильніший приріст втрат внаслідок посухи передбачається у Середземноморському та Атлантичному регіонах Європи [11].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Україна є одним з важливих виробників і експортерів зерна в світі, яка забезпечує 12% світових експортів пшениці [12]. Внаслідок змін клімату в регіонах традиційно використовуваних для вирощування зерна, таких як Лісостеп і Степ в Україні, існує потреба адаптувати технології вирощування для збереження високих врожаїв пшениці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За період з 2011 по 2020 роки порівняно з попередніми 30 роками річна кількість опадів в Україні зменшилася з 458 до 387 мм, а річна середня температура повітря зросла до 12.1°C, або на 2.0°C. Протягом останніх п'яти років режими вологості та тепла для сільськогосподарських культур у цій зоні погіршились, а процес аридизації Південного Степу значно прискорився [13]. Таким чином, крім інших аспектів, ми припустили, що праймування насіння метаболітами МСРР може бути перспективною технологією для стимуляції росту та розвитку рослин.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Особливістю даного дослідження є застосування саме вільної від клітин культуральної рідини з метаболітами ризосферних бактерій, а не клітин як таких. Крім того, було досліджено ріст-стимулювальні ознаки використаних ризосферних ізолятів.

Новизна. Новизна роботи полягає у використанні вільної від клітин культуральної рідини ризосферних бактерій для короткотермінового праймування насіння пшениці озимої.

Методологічне або загальнонаукове значення. Ризосферні грам-негативні бактерії, що використовувалися у дослідженні, ізольовані з ризосфери пшениці, *Pseudomonas putida* LKM13, *Achromobacter xylosoxidans* LKM14, *Ensifer adhaerens* LKM16 [14]. Ці бактерії були перевірені на наявність характеристик, що сприяють росту рослин, включаючи здатність використовувати атмосферний азот як єдиний джерело азоту, мобілізувати нерозчинні сполуки фосфору, синтезувати циклічні ліпопептиди та виробляти індол-3-оцтову кислоту.

У даній роботі використовувалася сорт зимової пшениці (*Triticum aestivum* L.) Смуглянка, який широко культивується в регіонах Лісостепу та Полісся в Україні і вирощується Інститутом фізіології рослин та генетики Національної академії наук України та Миронівським Інститутом пшениці ім. В.М. Ремесла Національної академії аграрних наук України.

Для культивування бактерій та перевірки їх ріст-стимулювальних характеристик використовувалися такі середовища. Культурне середовище на поживній агаровій основі (HiMedia Ltd., Індія) складалося з 10,0 г пептону, 3,0 г екстракту з дріжджів, 5,0 г NaCl, 1,000 мл дистильованої води та 15-20 г агару, pH 7.2-7.4, використовувалося для культивування бактерій та пересівання. Бактерії культивували на середовищах NF, Pi, Po протягом 7 днів при 28°C для тестування активності фіксації азоту та мобілізації фосфату. Для тестування здатності фіксувати азот використовувалося середовище Ешбі NF [15], яке складалося з 20,0 г сахарози, 0,2 г K2HPO4, 0,2 г MgSO4 ×7H2O, 0,2 г NaCl, 0,1 г K2S04, 5,0 г CaCOз, pH 7,2-7,4.

Для перевірки активності мобілізації фосфату використовувалися середовища Pi [16] та Po [17]. Середовище Pi складалося з 10,0 г глюкози, 0,5 г (NH4)2SO4, 0,5 г дріжджового екстракту, 0,3 г NaCl, 0,3 г KCl, 0,03 г FeSO4×7H2O, 0,3 г MgSO4× 7H2O, 0,03 г MnSO4× 4H2O, 5,0 г Ca3(PO4)2, 1000 мл дистильованої води та 20,0 г агару, pH 7,0–7,5.

Середовище Po складалося з 10,0 г глюкози, 0,5 г (NH4)2SO4, 0,5 г дріжджового екстракту, 0,3 г NaCl,

0,3 г KCl, 0,03 г FeSO4×7H2O, 0,3 г MgSO4×7H2O, 0,03 г MnSO4×4H2O, 1,0 г CaCO3, 0,2 г лецитину, 1000 мл дист.води.

Під час культивування щоденно проводили спостереження за утворенням прозорої «зони гало» навколо колоній кожного ізольованого штаму. Утворення гало навколо колоній на середовищі Рі свідчило про розчинення фосфату шляхом органічних кислот, тоді як на середовищі Ро це відбувалося за допомогою ферментів.

Тест на рухливість був проведений на середовищі Кларка, яке складалося з 5,0 г глюкози, 7,0 г пептону, 2,0 г Na2HPO4, 3,0 г KH2PO4, 1000 мл дистильованої води та 3,0 г агару, pH 6,9-7,2.

Для тестування здатності синтезувати циклічні ліпопептиди використовувався метод на основі дестабілізації рідких крапель поверхнево-активними речовинами. Стабільність крапель залежала від концентрації поверхнево-активних речовин і корелювала з поверхневим та міжфазовим натягом. Для цього на плівці парафіну, розтягнутій на твердій поверхні, розміщували аліквоти нічних культур (10 мкл). Зменшення поверхневого натягу та розподіл краплі свідчили про наявність поверхнево-активних речовин.тильованої води та 20,0 г агару, pH 7,0-7,5.

Здатність бактерій виробляти ІОК була перевірена на культурі бактерій у 10 мл середовища NB з триптофаном (200 мкг на 100 мл NB) при температурі 28°C протягом 3 днів. 3 мл бактеріальної культури центрифугували при 8000 об/хв протягом 10 хв, після чого було взято супернатант та додано 4 мл реактиву Салковскі, після чого зразок було інкубовано в темному приміщенні протягом 30 хвилин. Концентрація ІОК (в мкг/мл) визначалася на основі стандартної кривої ІОК, використовуючи спектрофотометр з довжиною хвилі 535 нм для вимірювання оптичної густини (OD) [18].

Праймування насіння пшениці озимої. У експерименті насіння пшениці було праймоване бактеріальними метаболітами за наступною процедурою: бактерії культивувалися у рідкому середовищі NB протягом 7 днів (28°C, 160 об/хв). Після цього культуральну рідину центрифугували, а супернатант був відфільтрований за допомогою фільтру 0.22 мкм і використаний для праймування насіння зимової пшениці шляхом замочування (30 хвилин). Стерильне середовище NB використовували як контроль. Насіння стерилізували перед праймуванням таким чином: промивали розчином мильної рідини (1 хв), потім – хлорвмісним розчином розведеним у дистильованій воді (співвідношення 1:3) протягом 3 хвилин, на завершення – стерильною дистильованою водою (1 хв). Насіння розкладали на стерильних паперових фільтрах у чашках Петрі (3 повтори по 10 насінин), і далі культивували за температури 18°C протягом 3 днів. Після культивування були визначені такі параметри: швидкість проростання, відсоток проростання, довжина проростків і коренів, кількість коренів. Візуально оцінювалися товщина та опушеність коренів.

Статистичний аналіз. Усі експерименти були виконані у трьох повторюваностях та представлені як середнє значення ± стандартне відхилення (SD). Для обчислення варіації даних були використані однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) і критерій Тьюкі HSD або Тьюкі Крамера, і $P<0.05$ вказує на статистично значиму різницю. Перевірка виконання умов нормальності проводилася на основі тесту Шапіро-Уілка ($\alpha=0.05$).

Виклад основного матеріалу. Визначення ріст-стимулювальних властивостей мікробних штамів показало здатність *Pseudomonas putida* LKM13 та *Ensifer adhaerens* LKM16 використовувати молекулярний азот як єдиний джерело азоту. Зростання біомаси у рідкому середовищі NF спостерігалося протягом 2 днів культивування. Крім того, штам *E. adhaerens* LKM16 демонстрував здатність розчинення фосфатів як на середовищі Рі, так і на Ро. Найбільші зони гало спостерігалися на середовищі Рі, досягаючи 2.5 мм, тоді як на середовищі Ро – 1.0 мм. Здатність синтезувати циклічні ліпопептиди була виявлена як у штаму *P. putida*, так і в *E. adhaerens*.

Згідно з різними способами розчинення фосфатів, фосфат-розчиняючі бактерії можна поділити на дві класи: (1) бактерії, що розчиняють Рі, які виділяють органічні кислоти для розчинення сполук у Рі середовищі, та (2) бактерії, що мінералізують Ро, які виділяють фосфатазу для ензиматичної мінералізації сполук у середовищі Ро [20].

Позитивний вплив МСРР на ріст рослин часто пояснюється синтезом бактеріями фітогормону ауксину, при чому індол-3-оцтова кислота (ІОК) є най-

Таблиця 1

Ріст-стимулювальні властивості ризобактеріальних штамів

№	Штам	рухливість	Синтез ліпо-пептидів	NF	Формування гало на середовищі з фосфатами		Синтез ІОК, мкг/мл
					Рі, mm	Ро, mm	
1	*P.putida* LKM13	+	+	+	-	-	89,6±0,27
2	*A.xylosoxidans* LKM14	+	-	-	-	-	34,6±0,12
3	*E.adhaerens* LKM16	-	+	+	2,5±0,2	1,0±0,1	178,3±1,45

більш дослідженою та, ймовірно, найпоширенішою молекулою ауксину [21]. Індол-3-оцтова кислота є головним рослинним гормоном, який регулює їх ріст та розвиток. Відомо, що синтез індол-3-оцтової кислоти бактеріями може відрізнятися в різних видів та штамах, а також залежати від умов культивування, стадії росту та наявності підстрату [22]. Ризосферні штами були протестовані на здатність синтезувати індол-3-оцтову кислоту (Рис. 1). Використання методології з реактивом Салковські для синтезу індол-3-оцтової кислоти має важливе значення для якісного та напівкількісного визначення. Цей реактив дозволяє виявити позитивну реакцію (зміну кольору) протягом декількох хвилин.

На основі проведених досліджень два штами – LKM13 та LKM16 – можна описати як перспективні МСРР, оскільки результати вказують на їх потенціал впливати на ріст рослин та сприяти живленню рослин. МСРР здобули значну увагу в сільськогосподарських дослідженнях через їх потенціал підвищити ріст та продуктивність рослин. Застосування штамів МСРР шляхом праймування насіння, замочуючи зерно в вільній від клітин культуральній рідині протягом визначеного періоду часу, ініціює фізіологічні процеси, пов'язані з проростанням насіння. Праймування насіння живими бактеріями може мати наслідки для розвитку бактеріальної популяції або підтримання нормального рівня бактеріальних метаболітів протягом ранніх стадій розвитку рослини. В нашому дослідженні ми обробляли насіння пшениці бактеріальними метаболітами лише один раз, щоб спостерігати ефекти секретому бактерій на рослини. Секретом бактерій містить велику кількість білків, які взаємодіють з іншими мікроорганізмами, рослиною-господарем або середовищем [23]. Незважаючи на те, що всі тестовані штами були здатні синтезувати ІОК, а *E. adhaerens* був суперпродуцентом і виробляв до 180 мкг/мл ІОК у культуральній рідині, не було виявлено ефекту стимуляції проростання насіння (Рис. 2).

Незважаючи на те, що не було відмічено статистично значущої різниці у швидкості проростання насіння, довжині коренів та проростків після 7 днів культивування за умов праймування, спостерігали загальні візуальні зміни проростків (Табл. 2).

Хоча LKM16 був лідером за дослідженими ріст-стимулювальними властивостями, найбільш помітний ефект на опушеність коренів був викликаний метаболітами LKM13. З одного боку, опушеність коренів може мати позитивний вплив на розвиток рослин. Наприклад, це збільшує загальну поверхню для адсорбції вологи та поживних речовин із ґрунту, що може покращити метаболічні процеси в коренях та сприяти росту рослини [24]. Крім того, опушеність коренів може сприяти покращенню стабільності та утримання рослини в ґрунті. Тому можливі результати використання метаболітів можуть мати відкладений ефект і спостерігатися на пізніших стадіях росту. Наприклад, в 20-річному польовому дослідженні [25] інокуляція МСРР значно збільшувала біомасу, об'єм та поверхню коренів пшениці. Втім, у дослідженні [26] підвищена опушеність коренів була результатом морфогенних зміни, викликаних стресом.

Головні висновки. Досліджені ризосферні культури мають ознаки ріст-стимульвальних бактерій. Один з ізолятів *Ensifer adhaerens* LKM16 високопродуктивним продуцентом ІОК. Використання вільних від бактерій культуральних рідин досліджених ізолятів для праймування насіння стимулювали розвиток пшениці на ранніх стадіях розвитку.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані для розробки технологій стимуляції росту рослин. Однак, необхідно проведення додаткових досліджень для виявлення оптимального часу праймування та дослідження ефектів праймування на різні сорти пшениці озимої.

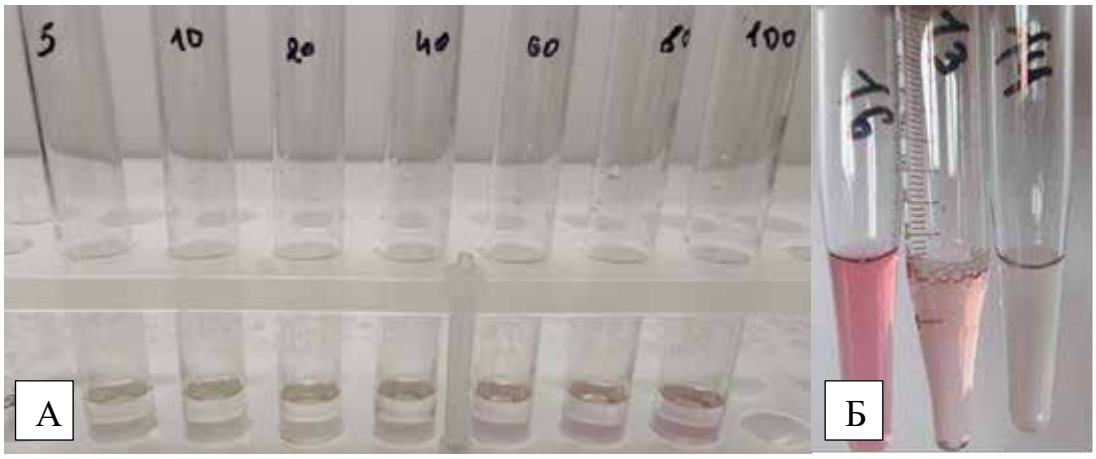


Рис. 1. Визначення індол-3-оцтової кислоти (ІОК) у культурній рідині з використанням реактиву Салковські: А – калібрувальні розчини в діапазоні від 5 до 100 мкг/мл; Б – тестовані штами

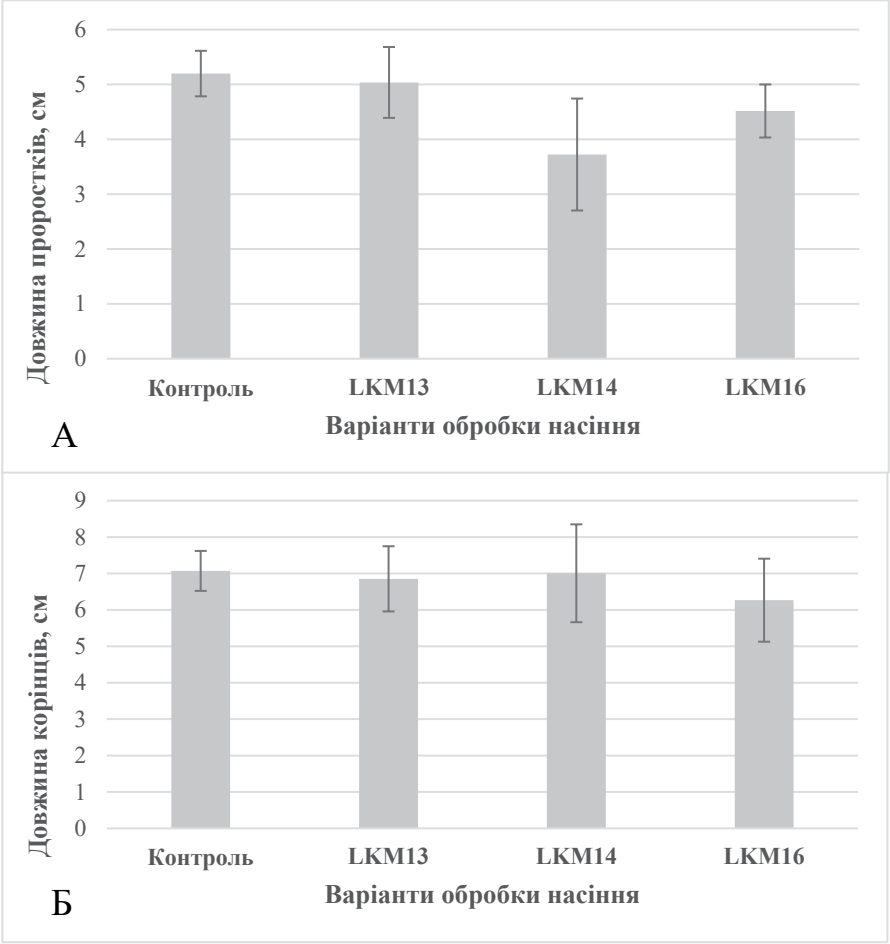


Рис. 2. Довжина проростків (А) та корінців (Б) через 7 днів після праймування насіння. Дані представлені як середнє значення ± стандартне відхилення (SD)

Таблиця 2

Додаткові візуальні спостереження пророслого насіння після 7 діб культивування

№	Варіант обробки	Стан проростків
1	Контроль	Візуально корені не сильно опушені, стебло потоншене та не сильно видовжене
2	*P. putida* LKM13	Візуально корені набагато опушені порівняно з контрольним зразком, стебло потовщене, грубе, видовжене
3	*A. xylosoxidans* LKM14	Корені набагато більше опушені порівняно з контрольним зразком, стебло потовщене, але меньше ніж у варіанті з LKM13, кількість коренів відносно посередня серед представленних зразків
4	*E.adhaerens* LKM16	Корені опушені сильніше у порівнянні з контролем, стебло потовщене, але менше ніж у варіантів з LKM13.

Література

1. Ek-Ramos, M. J., Gomez-Flores, R., Orozco-Flores, A. A., Rodríguez-Padilla, C., González-Ochoa, G., & Tamez-Guerra, P. Bioactive products from plant-endophytic Gram-positive bacteria. *Frontiers in microbiology*. 2019. 10. P. 463.
2. Moshynets, O. V., Babenko, L. M., Rogalsky, S. P., Iungin, O. S., Foster, J., Kosakivska, I. V., & Spiers, A. J. Priming winter wheat seeds with the bacterial quorum sensing signal N-hexanoyl-L-homoserine lactone (C6-HSL) shows potential to improve plant growth and seed yield. *PLoS One.* 2019. 14(2). e0209460;
3. Riaz, U., Mehdi, S. M., Iqbal, S., Khalid, H. I., Qadir, A. A., Anum, W. & Murtaza, G. Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment. *Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation*. 2020. P. 189-213.
4. Eid, A. M., Fouda, A., Abdel-Rahman, M. A., Salem, S. S., Elsaied, A., Oelmüller, R., … & Hassan, S. E. D. Harnessing bacterial endophytes for promotion of plant growth and biotechnological applications: an overview. *Plants*. 2021.10(5). P. 935.

5. Singh, M., Sharma, J. G., & Giri, B. Microbial inoculants alter resilience towards drought stress in wheat plants. 2023.
6. Chandra, D., Srivastava, R., Gupta, V. V., Franco, C. M., Paasricha, N., Saifi, S. K., … & Sharma, A. K. Field performance of bacterial inoculants to alleviate water stress effects in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant and soil.* 2019. 441. P. 261-281;
7. Hussaini, H. B. S. M. B. Potential of plant growth promoting bacteria (PGPB) on drought stress alleviation of wheat (*Triticum aestivum* L.) for dry condition-a review. *GSJ.* 2021. 9(3).
8. Hadj Brahim, A., Ben Ali, M., Daoud, L., Jlidi, M., Akremi, I., Hmani, H., … & Ben Ali, M. Biopriming of durum wheat seeds with endophytic diazotrophic bacteria enhances tolerance to Fusarium head blight and salinity. *Microorganisms*. 2022. 10(5). P. 970.
9. Hossain, M. A., Hossain, M. S., & Akter, M. Challenges faced by plant growth-promoting bacteria in field-level applications and suggestions to overcome the barriers. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2023. P. 102029.
10. Sharifi, P., & Mohammadkhani, N. Effects of drought stress on photosynthesis factors in wheat genotypes during anthesis. *Cereal research communications*. 2016. 44(2), 229-239.
11. Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., … & Feyen, L. Global warming and drought impacts in the EU. Publications Office of the European Union: Luxembourg. 2020.
12. Lin, F., Li, X., Jia, N., Feng, F., Huang, H., Huang, J., … & Song, X. P. The impact of Russia-Ukraine conflict on global food security. *Global Food Security*. 2023. 36, 100661.
13. Вожегова, Р. А., Нетіс, І. Т., Онуфран, Л. І., Сахацький, Г. І., & Шарата, Н. Г. Зміна клімату та аридизація Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. 7. P. 16-20.
14. Деякі ріст-стимулювальні характеристики бактерій, асоційованих з ризосферою пшениці озимої: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для україни та світу, присвяченої 125-річчю Національного університету біоресурсів і природокористування України. Секція 2. Післявоєнне відновлення рослинних ресурсів та екологічна безпека країни (25 травня 2023 р, Київ), Київ, 2023. 651 с.
15. Baldani, J. I., Reis, V. M., Videira, S. S., Boddey, L. H., & Baldani, V. L. D. The art of isolating nitrogen-fixing bacteria from non-leguminous plants using N-free semi-solid media: a practical guide for microbiologists. *Plant and soil*. 2014. 384. P. 413-431.
16. Sahu, S. N., & Jana, B. B. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. *Ecological Engineering*. 2000. 15(1-2), 27-39.
17. Surange, S., Wollum Ii, A. G., Kumar, N., & Nautiyal, C. S. Characterization of Rhizobium from root nodules of leguminous trees growing in alkaline soils. *Canadian Journal of Microbiology*. 1997. 43(9), 891-894.
18. Denaya, S., Yulianti, R., Pambudi, A., & Effendi, Y. Novel microbial consortium formulation as plant growth promoting bacteria (PGPB) agent. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 637, No. 1, p. 012030). 2021. IOP Publishing.
19. Manolopoulou, E., Varzakas, T., & Petsalaki, A. Chlorophyll determination in green pepper using two different extraction methods. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* (Special Issue Carotenoids March 2016). 2016. 4. P. 52-60.
20. Chen, Q., & Liu, S. Identification and characterization of the phosphate-solubilizing bacterium Pantoea sp. S32 in reclamation soil in Shanxi, China. *Frontiers in microbiology*. 2019. 10, 2171.
21. Stegelmeier, A. A., Rose, D. M., Joris, B. R., & Glick, B. R. The use of PGPB to promote plant hydroponic growth. *Plants*. 2022. 11(20), 2783.
22. Panigrahi S., Dash D., Rath C. C. Characterization of endophytic bacteria with plant growth promoting activities isolated from six medicinal plants. *Journal of experimental biology and agricultural sciences.* 2018. 6 (5). P. 782-791.
23. Gagic, D., Ciric, M., Wen, W. X., Ng, F., & Rakonjac, J. Exploring the secretomes of microbes and microbial communities using filamentous phage display. *Frontiers in microbiology*. 2016. 7. P. 429.
24. Shiao, T. L., & Doran, P. M. Root hairiness: effect on fluid flow and oxygen transfer in hairy root cultures. Journal of biotechnology. 2000. 83(3). P. 199-210.
25. Rostamian, A., Moaveni, P., Mozafari, H., & Rajabzadeh, F. Effective drought mitigation by rhizobacteria consortium in wheat field trials. *Rhizosphere*. 2023. 25. 100653.
26. Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., & Jansen, M. A. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends in plant science.* 2007. 12(3). P. 98-105.

УДК 061+911.6:581.54
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.28

РАЙОНУВАННЯ ТА УМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ СУБТРОПІЧНИХ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР НА ПОЛТАВЩИНІ

Красовський В.В.[1], **Козлов А.В.**[2], **Черняк Т.В.**[1]
[1]Хорольський ботанічний сад
вул. Кременчуцька, 1/79, оф. 46, 37800, м. Хорол
[2]Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти І-ІІІ ступенів № 1
Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»
вул. Незалежності, 110/3, 37800, м. Хорол
horolbotsad@gmail.com, av_kozlov@ukr.net

Акцентована увага на внесених змінах щодо районування та умов дослідження субтропічних плодових культур у Хорольському ботанічному саду – інтродукційному пункті на Полтавщині.

Відповідно до нового адміністративно-територіального устрою ботанічний сад розташований на території міста Хорол Лубенського району Полтавської області.

Показано що Хорольська територіальна громада за фізико-географічним районуванням відноситься до Хорольсько-Решетилівського району південно-лісостепової смуги Західно-лісостепової давньольодовикової підобласті, області Полтавської підвищеної рівнини Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції зони Лісостепу Східноєвропейської рівнинної фізико-географічної країни, в межах південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини Східноєвропейської докембрійської платформи. Згідно з геоботанічним районуванням її територія належить до Гадяцько-Миргородського району Роменсько-Полтавського геоботанічного округу лучних степів, дубових, грабово-дубових (на заході) та дубово-соснових (на терасах річок) лісів і евтрофних боліт Лівобережно-Придніпровської підпровінції Східно-Європейської провінції Європейсько-Сибірської Лісостепової області (зони).

Ботанічний сад розташований в південній частині міста Хорола на правому корінному березі р. Хорол, який прорізує яр-балка із струмком. Геолокація за координатами 49º46′40″ пн. ш. 33º15′40″ сх. д. Територія саду площею 18 га простягається з півночі на південь на 1 км і близько 1,5 км із заходу на схід. Загальна протяжність яру 1500 м. Материнською породою є глини. Територія саду за рельєфом умовно поділяється на три частини: північну, південну та центральну. Рельєф північної частини відносно рівнинний. Абсолютні відмітки території коливаються від 130 до 135,5 м з ухилом 8 %. Південна – круті, місцями пологі схили. Абсолютні відмітки коливаються від 110 до 135 мБС. Ухил рельєфу більше 15 %. Центральна частина – яр, що простягається з заходу на схід. Глибина яру у нижній частині досягає 30 м. Лівий борт яру порізаний низкою ерозійних борозн. Яр формує певний мікроклімат території, оскільки до нього стікається холодне повітря і тумани. Клімат Полтавської області належить до Атлантико-континентальної помірно-теплої, помірно-вологої кліматичної області помірного кліматичного поясу. Зима малосніжна, нестійка, порівняно тепла, літо тепле і помірно вологе і це сприяє інтродукції субтропічних плодових культур. *Ключові слова:* Хорольський ботанічний сад, пункт інтродукції, районування, умови досліджень.

Zoning and conditions of research of subtropical fruit crops in Poltava region. Krasovsky V., Kozlov A., Cherniak T.

Emphasis is placed on the changes made regarding the zoning and research conditions of subtropical fruit crops in the Khorolsky Botanical Garden – an introduction point in the Poltava region.

According to the new administrative and territorial structure, the botanical garden is located on the territory of the city of Khorol, Lubensky District, Poltava Region.

It is shown that the Khorolsk Territorial Community according to physical and geographical zoning belongs to the Khorolsk-Reshetyliv district of the southern forest-steppe strip of the Western forest-steppe paleo-glacial subregion, the region of the Poltava elevated plain of the Left Bank-Dnieper forest-steppe province, the forest-steppe zone of the East European plain physical-geographic country, within the southwestern border Dnieper-Donetsk depression of the East European Precambrian platform. According to the geobotanical zoning, its territory belongs to the Hadiatsko-Myrhorod district of the Romena-Poltava geobotanical district of meadow steppes, oak, hornbeam-oak (in the west) and oak-pine (on river terraces) forests and eutrophic swamps of the Left Bank-Dnieper subprovince of the East European province European-Siberian Forest-Steppe region (zone).

The botanical garden is located in the southern part of the city of Khorol, on the right root bank of the Khorol river, which cuts through a ravine with a stream. Geolocation according to coordinates 49º46′40″ N. sh. 33º15′40″ E. d. The territory of the garden with an area of 18 hectares stretches from north to south for 1 km and about 1.5 km from west to east. The total length of the ravine is 1,500 m. The parent rock is clay. The territory of the garden is conditionally divided into three parts according to the topography: northern, southern and central. The relief of the northern part is relatively flat. The absolute elevations of the territory range from 130 to 135.5 m with a slope of 8 %. South – steep, sometimes gentle slopes. Absolute marks range from 110 to 135 MBS. The slope of the relief is more than 15 %. The central part is a ravine that stretches from west to east. The depth of the ravine in the lower part reaches 30 m. The left side of the ravine is cut by a series of erosion furrows. The ravine forms a certain microclimate of the territory, as cold air and fogs flow into it. The climate of the Poltava region belongs to the Atlantic-continental moderately warm, moderately humid climatic region of the temperate climate zone. Winter is snowy, unstable, relatively warm, summer is warm and moderately humid, and this contributes to the introduction of subtropical fruit crops. *Key words:* Khorol Botanical Garden, point of introduction, zoning, research conditions.

Постановка проблеми. Хорольський ботанічний сад (далі ХБС) площею 18 га створений Указом Президента України від 11.12.2009 року, розпочав функціонувати у 2011 р., а офіційно відкритий у 2013 р. і є об'єктом природно-заповідного фонду України загальнодержавного значення, який належить до групи зелених насаджень спеціального призначення зі статусом науково-дослідної установи [1]. Це перший державний заклад такого рівня на Полтавщині. До структури наукового підрозділу належить сектор акліматизації плодових, ягідних та лікарських культур.

Згідно Проєкту створення ботанічного саду у місті Хоролі Полтавської області (2007 р.), Проєкту організації території Хорольського ботанічного саду (2014 р.), рішення Науково-технічної ради Хорольського ботанічного саду від 17.08.2012 р. № 1 головним напрямком наукових досліджень є інтродукція окремих видів субтропічних плодових культур за відкритого ґрунту.

Огляд загальної практики інтродукційної діяльності у ботанічних садах зумовлює чітко окреслити регіон та умови досліджень інтродуктів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Варто зазначити про необхідність уточнення даних про розташування та характерні умови пункту інтродукції (історичне, адміністративне, фізико-географічне, гео-ботанічне, агро- та ґрунтово-кліматичне, етнографічне тощо), оскільки це важлива інформація, що необхідна при написанні наукових монографій (розділів монографій), дисертаційних робіт, наукових статей, тез доповідей, звітів про наукову діяльність установи. Крім того такі дані враховуються при користуванні *delectus seminum*, визначенні регіонів мобілізації інтродукційного матеріалу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Адміністративно-територіальна реформа, яка відбулася з 2015 по 2020 роки, полягала не лише у наданні більших повноважень органам місцевого самоврядування (децентралізації), але і зміні адміністративно-територіального поділу, тобто замість понад 11000 місцевих рад було сформовано 1469 спроможних територіальних громад, але в наукових працях при характеристиці регіону досліджень рідко вказується його нове територіальне підпорядкування і майже не зустрічається посилання на географічні координати, а це вагомий аргумент, оскільки компоненти природних умов виявляються в їх просторово-територіальному поширенні, тобто географічності.

За роки існування суверенної української держави були переглянуті підходи до геоботанічного районування України, яке було розроблене на основі геоботанічного районування СРСР, на що також необхідно звернути увагу. Варто зазначити, що карта України розділена на етнографічні макрорегіони і посилання на них у певній мірі може характеризувати природно-кліматичні умови пункту інтродукції. Цим та іншим особливостям характеристики інтродукційного пункту – ХБС варто приділяти більше уваги.

Виклад основного матеріалу. Вся територія ХБС знаходиться в межах міста Хорола, Лубенського району, Полтавської області.

У праці «Физико-географическое районирование Украинской ССР», авторами якої є В.П. Попов, О.М. Маринич та А.І. Ланько, обґрунтовано фізико-географічний поділ території України на зони, провінції і області [2]. Саме там вперше Лісостеп України був розділений на 4 фізико-географічні провінції (краї), однією з яких є Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція, що охоплює значну частину Придніпровської низовини, міститься на території Київської, Чернігівської, Сумської, Харківської і Полтавської областей.

Хорольська територіальна громада за фізико-географічним районуванням відноситься до Хорольсько-Решетилівської району південно-лісостепової смуги Західно-лісостепової давньольодовикової підобласті, області Полтавської підвищеної рівнини Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції зони Лісостепу Східноєвропейської рівнинної фізико-географічної країни [3].

Карта етнографічних регіонів України за Т. Косміною вказує на належність Полтавської області до макрорегіону Лісостеп, відповідно до географічного принципу. В межиріччі Сули і Псла, за історичним принципом сформувався мікрорегіон Хорольщина, як територія, на якій існували Хорольська сотня Миргородського полку, згодом Хорольський повіт Полтавської губернії і Хорольський район Полтавської області. За історичним принципом виокремлено регіон Полтавщина, що охопив більшу частину колишньої Полтавської губернії, охопивши південні території сучасної Чернігівської області на південь від Ніжина, Приорільські громади Дніпропетровської області, крайній схід Київської і західні громади Сумської областей. Полтавщина межує на заході з Лівобережним Середнім Подніпров'ям, до складу якого належить південно-західна частина сучасної Полтавської області, на сході із Слобожанщиною, до складу якої віднесені крайні східні територіальні громади Полтавської області, на півночі з Чернігівським і Новгород-Сіверським Поліссям, на півдні з Східним Нижнім Подніпров'ям. Полтавщина, разом із Слобідською Україною належить до лісостепового лівобережжя [4].

Згідно з геоботанічним районуванням України (1977) територія Хорольської територіальної громади належить до Гадяцько-Миргородського району Роменсько-Полтавського геоботанічного округу лучних степів, дубових, грабово-дубових (на заході) та дубово-соснових (на терасах річок) лісів і евтроф-

них боліт Лівобережно-Придніпровської підпровінції Східно-Європейської провінції Європейсько-Сибірської Лісостепової області (зони) [5].

ХБС розташований в південній частині міста Хорола, займає площу 18 га. Територія саду простягається з півночі на південь на 1 км і близько 1,5 км із заходу на схід [1]. Геолокація за координатами 49º46′40″ пн. ш. 33º15′40″ сх. д. [6].

Полтавська область знаходиться в центральній частині України, між 50°33’18» і 48°44’36» пн. ш. та 32°05’20» і 35°29’33» сх. д. Протяжність території області з півночі на південь – 213,5 км, з північного заходу на південний схід – 259 км. Загальна площа становить 28,8 тис. км^2. На півночі вона межує з Чернігівською та Сумською областями, на північному заході – з Київською, на заході – з Черкаською, на південному заході – з Кіровоградською, на півдні – з Дніпропетровською, на сході – з Харківською областями [1, 7].

17 липня Верховна Рада України прийняла Постанову № 3650 «Про утворення та ліквідацію районів. Згідно з документом відповідно до нового адміністративно-територіального устрою Лубенський район сформувався на заході області. В сучасних межах Лубенського району Хорольська міська територіальна громада займає крайнє південно-східне положення і межує на півночі з Лубенською ТГ Лубенського району, Ромоданівською і Миргородською ТГ Миргородського району, на сході з Великобагачанською ТГ Миргородського району, на півдні з Семенівською ТГ Кременчуцького району, на заході з Оболонянською ТГ Кременчуцького району і Оржицькою ТГ Лубенського району [8]. Загальна площа громади 1,1 тис. км^2 [9]. Загальна протяжність громади з заходу на схід 41 км, а з півночі на південь 32 км [6]. Місто Хорол рівновіддалене від крайніх точок територіальної громади. Центр міста має координати 49º47′ пн. ш. і 33º16′ сх. д. [9]. Місто видовжене з заходу на схід на 8,5 км, з півночі на південь на 3,5 км [6].

Хорольська територіальна громада розташована в межах південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини Східноєвропейської докембрійської платформи. Основу її геологічної будови складають осадові гірські породи: піски, пісковики, глини, вохри палеогенового і неогенового періоду. Найближче до земної поверхні майже скрізь залягають породи антропогенового періоду: лесоподібні суглинки, алювіальні піски і супіски. Рельєф в громаді низовинний. Переважають висоти 140–90 м. Територія Хорольщини повністю розташована в межах Придніпровської низовини Східноєвропейської рівнини. Поверхня слабо хвиляста і слабо похилена, адже знижується з північного сходу на південний захід. Поверхня низовини розчленована долинами річок, ярами і балками. Зустрічаються степові блюдця. На крутих схилах річкових долин і берегах ставків трапляються зсуви. Піщані кучугури й улоговини видування на перших надзаплавних терасах річок Хоролу і Сули [2, 3].

З штучних форм рельєфу на території громади зустрічаються кургани, греблі, котловани штучних ставків, дамби, насипи для залізничних та автомобільних доріг, кар’єри з видобутку піску і глини [10].

ХБС розташований на правому корінному березі р. Хорол, який прорізує яр-балка із струмком. Загальна протяжність яру 1500 м [6]. Материнською породою є глини. Під час буріння свердловини наприкінці XIX століття для забезпечення водою Хорольського винного складу, який розташовувався за 300 м від території ХБС, на майже тій самій висоті над рівнем, моря було визначено геологічний профіль відкладів у футах (1 фут = 30,48 см): чорнозем (0–3), жовто-бура і червона глини (3–59), бура глина з піщаним водоносним прошарком (59–69), дуже тверда темно-сіра глина (69–151), зеленувато-сіра глина (151–169), чистий водоносний пісок, який належить до горизонту білих пісків (169–187), світла зеленувато-сіра піщана глина (187–204). Територія ХБС за рельєфом умовно поділяється на три частини: північну, південну та центральну. Рельєф північної частини відносно рівнинний. Абсолютні відмітки території коливаються від 130 до 135,5 м з ухилом 8 %. Південна – круті, місцями пологі схили. Абсолютні відмітки коливаються від 110 до 135 мБС. Ухил рельєфу більше 15 %. Центральна частина – яр, що простягається з заходу на схід. Умовний початок яру (ерозійної борозни) це автодорога Т 1716, вул. Кременчуцька, на висоті 136 м відносно рівня моря [11]. Кінець ерозійної борозни знаходиться на вул. Берегова на висоті 96 м. Загальний похил основної ерозійної борозни 26,66 м/км. Глибина яру у нижній частині досягає 30 м. Лівий борт яру порізаний низкою ерозійних борозн. Яр формує певний мікроклімат території, оскільки до нього стікається холодне повітря і тумани. Отже, геологічні умови сприяли формуванню певного типу ґрунтів, які мають вплив на ріст рослин. Орографічний чинник також впливає на особливості мікроклімату території, що є не менш важливою умовою для вирощування рослин.

Клімат Полтавської області належить до Атлантико-континентальної помірно-теплої, помірно-вологої кліматичної області помірного кліматичного поясу [3, 7, 12]. Зима малосніжна, нестійка, порівняно тепла, літо тепле і помірно вологе. За даними Полтавського обласного центру з гідрометеорології, середня температура повітря за рік по області (за період 1986–2005 рр.) була 7,6–8,6 °С. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становила мінус 3,6–4,4 °С, середня температура липня (найтеплішого місяця) – 20,5–21,6 °С тепла. Абсолютний мінімум температури повітря по області зафіксований у січні 1987 р. і дорівнював 30,2 °С морозу (метеостанція Веселий Поділ), абсолютний максимум зафіксований у серпні 2010 р. – 39,6 °С тепла (метеостанція Гадяч) [1].

Зимовий період на Полтавщині триває 96–104 дні – з 21–25 листопада, коли відбувається стійкий перехід середньодобової температури повітря через 0° у бік зниження і починається зима, до 1–5 березня, коли відбувається стійкий перехід середньодобової температури повітря через 0° у бік потепління та починається весна.

Вегетаційний період (із середніми добовими температурами повітря 5° тепла і вище) триває 207–213 днів, починається в середньому по області 31 березня – 2 квітня і закінчується 26–29 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 5 °С за цей період коливається від 3125 °С на півночі області до 3340 °С на півдні.

Період активної вегетації сільськогосподарських культур (із середніми добовими температурами повітря 10 °С і вище) триває 169–173 дні, змінюючись в окремі роки від 148 до 190 днів, починається від 16–18 квітня і закінчується 4–6 жовтня. Сума позитивних температур повітря вище 10 °С за цей період змінюється від 2795 °С на півночі області до 3045 °С на півдні. В окремі роки ця сума коливається від 2390 °С до 3435 °С.

Літній період (із середніми добовими температурами повітря вище 15 °С) триває в області 111–122 дні – з 15–19 травня до 8–14 вересня. Сума позитивних температур повітря вище 15 °С за цей період коливається від 1995 °С на півночі області до 2285 °С на півдні.

Перші осінні заморозки в повітрі спостерігаються в другій декаді вересня, останні весняні – у другій декаді травня. Найпізніший весняний заморозок у повітрі зафіксовано 13 травня 1999 р., а на ґрунті – 24 травня 1998 р. Найбільш ранній осінній заморозок у повітрі спостерігався 21 вересня 1993 р., а на ґрунті – 8 вересня 1991р. Середня тривалість безморозкового періоду по області в повітрі становить 174–183 дні, на поверхні ґрунту – 145–160 днів [1].

Аналіз середньорічної температури повітря (за даними Полтавського обласного центру з гідрометеорології) показує, що за період із 1961 по 1990 р. вона збільшилась на 0,5 °С, а з 1991 по 2016 р. – на 1,4 °С, тобто її зростання за останні роки прискорилось майже втричі. Швидке зростання температури повітря відбувається в зимовий, весняний та літній періоди [1].

Восени тенденція до підвищення температури значно менша, проте ніщо не ставить під сумнів, що загальною тенденцією зміни кліматоутворюючих факторів на Полтавщині є підвищення середньорічних температур (табл. 1).

Таблиця 1

Середньорічна температура повітря по м. Полтава за період 2017–2022 рр.

2017	2018	2019	2020	2021	2022
9,7	9,4	10,4	10,7	9,2	11,0

Підвищення середньої температури повітря та нерівномірний розподіл опадів призводять до різкої трансформації переважної частини кліматичних і сільськогосподарських зон України. У зв'язку з цими процесами існує нагальна потреба в підвищенні адаптації до кліматичних змін у деяких галузях національної економіки, зокрема й у аграрному секторі [1].

Варто зазначити, що регіони всіх держав земної кулі поділені на зони морозостійкості за шкалою USDA (за першими літерами назви міністерства сільського господарства США). Таку температурно-кліматичну шкалу розробили для потреб сільського господарства. Нововведення дозволило Сполученим Штатам описати свою територію не тільки з точки зору температурних діапазонів для сільськогосподарських культур, а й позначити деревні і чагарникові культури, які можуть рости і розвиватися в діапазонах цих температур, тобто в певних зонах. У 2012 році шкала була оновлена, що пов'язано зі зміною клімату за останні 30 років. Всього в світі є 13 зон USDA – від 0 до 12. При цьому для більш точної інформації кожна зона USDA має дві підзони a і b**,** чиї граничні температури відрізняються в межах 2–3 °С. Територія України займає зони від 5-ї до 7-ї (рис. 1) із середнім значенням щорічної мінімальної температури наведеної в табл. 2 [13]. Такий поділ на зони заслуговує на увагу при виборі інтродукційного матеріалу, однак слід зауважити, що зимостійкість рослин залежить від багатьох факторів, тому поділ на зони морозостійкості необхідно сприймати як орієнтовну інформацію.

Таблиця 2

Зони морозостійкості рослин України із середнім значенням щорічної мінімальної температури

5	a	- 28,9 °С	- 26,2 °С
	b	- 26,1 °С	- 23,4 °С
6	a	- 23,3 °С	- 20,6 °С
	b	- 20,5 °С	- 17,8 °С
7	a	- 17,7 °С	- 15,0 °С
	b	- 15,0 °С	- 12,3 °С

Крім температурних умов на ріст, розвиток і плодоношення рослин мають вплив і умови зволоження: кількість і режим випадання опадів. Відповідно до класифікації типів клімату субтропічний пояс не є однорідним. Виділяють області континентального, середземноморського, мусонного, з рівномірним зволоженням типи кліматів [14].

Сума випаровування за період з температурою вище 10º на найближчих до м. Хорола метеостанціях на поч. 90-х рр. XX ст. становила у Веселому Подолі 600 мм, Лубнах 570 мм. Сума опадів за рік відповідно 480 мм і 520 мм, а за період температур вище 10º – 280 мм і 290 мм. Загалом влітку опадів буває більше, ніж зимою [10].

Рис. 1. Карта поділу України на зони морозостійкості

Лише невелика частка атмосферних опадів близько 20 % трансформується у річковий стік. Решта вологи витрачається на випаровування і транспірацію рослинами.

Користуючись архівом погодних даних, за період спостережень з 2006 по 2022 р. на метеостанції м. Лубни, складена таблиця розподілу опадів і середньорічних температур (табл. 3) відповідно до якої простежуються закономірність, що в роки з найменшою кількістю опадів фіксувалися найбільші показники середньорічної температури, що пояснюється переважанням антициклональної погоди, а також поступове підвищення середньорічної температури, а отже і випаровування при майже однаковій кількості опадів протягом зазначеного періоду.

Загалом, кліматичні показники Хорольської громади наближаються до показників субтропічного поясу. За температурними показниками до материкового (континентального) типу клімату, а за кількістю опадів, але не їх розподілом, до клімату західного узбережжя материків (субсередземноморського) [14] і це дозволяє характеризувати агрокліматичну зону до якої відноситься Хорольська територіальна громада як теплу, недостатньо вологу [2].

Річкову мережу Хорольської територіальної громади складають притоки Хоролу і Сули, які відносяться до басейну Дніпра. В долинах цих великих річок є старичні (заплавні) озера, низинні болота [2]. Малих водотоків (річок і струмків) в громаді нараховується близько 18-ти [9]. В їх долинах створено близько 97 ставків із орієнтовною площею водного дзеркала 667 га [2]. Заболочена заплава р. Хорол в кількох місцях осушена за допомогою водовідвідних каналів і відстійників для води. На Хорольщині відомі джерела мінеральних вод хімічний склад яких був визначений ще на рубежі XIX – на поч. XX століття. Дослідження проводилися Одеською центральною і полтавською акцизною лабораторіями на наявність твердого залишку, вапна, магнезії, лугів, хлору, сірчаної кислоти, азотної і азотистої кислоти, вугільної кислоти, визначалися загальна і постійна жорсткість, склад солей. Так, у свердловині Хорольського винного складу загальна жорсткість води коливалася від 14,84º до 15,5º, склад солей не визначався, в колодязі цього ж складу, який добував воду з горизонту 59–69 футів загальна жорсткість води коливалася від 32,4º до 39,03º, орієнтовний склад солей (у 100,000 часток): хлористий натрій (21,8–25,74), сірчано-кислий натрій (28,53–41,82), сірчано-кислий кальцій (22,65–27,25), вуглекислий кальцій (18,11–19,8), вуглекислий магній (18,42–22,09). В кількох сотнях метрів від нижньої частини яру, розташовувалася відома в Хоролі Зубанівська криниця воду якої деякий час використовував винний склад у вказаний вище період. Був зроблений аналіз цієї води 1897 р., який продемонстрував наступні показники: загальна жорсткість 24,81º і склад солей у частках: хлористий натрій (21,06), сірчано-кислого натрія (31,29), вуглекислого кальція (17,0), вуглекислого магнія (14,45).

Таблиця 3

Розподіл кількості опадів і середньорічної температури за 2006–2022 рр. на метеостанції м. Лубни

Період розрахунку даних	Кількість опадів (мм)	Середня річна температура (t °C)
01.01.2006 – 31.12.2006	683	7,9
01.01.2007 – 31.12.2007	521	9,7
01.01.2008 – 31.12.2008	593	9,1
01.01.2009 – 31.12.2009	616	9,0
01.01.2010 – 31.12.2010	616	9,4
01.01.2011 – 31.12.2011	465	8,5
01.01.2012 – 31.12.2012	656	9,2
01.01.2013 – 31.12.2013	572	9,4
01.01.2014 – 31.12.2014	473	9,3
01.01.2015 – 31.12.2015	547	9,8
01.01.2016 – 31.12.2016	862	8,9
01.01.2017 – 31.12.2017	547	9,5
01.01.2018 – 31.12.2018	710	9,1
01.01.2019 – 31.12.2019	399	10,2
01.01.2020 – 31.12.2020	538	10,5
01.01.2021 – 31.12.2021	625	8,9
01.01.2022 – 31.12.2022	514	10,7

Прогнозовані запаси підземних вод Хорольщини 176,4 тис. м^3/добу, затверджені – 41,1 тис. м^3/добу [10].

Струмок, що тече на дні яру, який перетинає територію ХБС є притокою стариці (рукава) р. Хорол. За розвідками краєзнавця Ольги Кожевнікової струмок в XIX ст. мав назву Дощова Продуха і був нанесений на плані Хоролу 1780 р. [15]. Його русло на даний час перегороджують греблі створюючи каскад із п'яти ставків [6]. Уріз води першого з них 122,1 м, другого 117,35 м, третього 114,4 м, четвертого 109,1 м., п'ятого 102 м [11]. В межах ХБС розташовані перші чотири. Загальний об'єм води в них потребує довивчення, площа водного дзеркала 1,7671 га [10]. Крім атмосферних опадів, струмок живиться підземними водами, які й формують його певний мінерально-сольовий склад. До ставків потрапляє багато органічних решток (опалого листя, відмерлих водоростей), які надають воді болотного запаху. Нагрітий за теплий період року об'єм води у ставках, віддаючи своє тепло, пом'якшує період настання перших заморозків, що дає позитивний вплив на входження субтропічних плодових культур в зимовий режим.

Механічний і мінеральний склад ґрунту, його родючість є однією з умов вирощування культурних рослин. Дослідження ґрунтів Хорольщини були проведені ще В. Докучаєвим. Основними типами ґрунтів в межах Хорольської територіальної громади є різні типи чорноземів, які сформувалися під степовою рослинністю, на слабо розчленованих лесових вододільних рівнинах і високих надзаплавних терасах. Переважають чорноземи типові і чорноземи солонцюваті, які мають крупнопилувато-середньосуглинковий механічний склад. Невеликі ділянки займають темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені, лучно-чорноземні, лучно-болотні та болотні, торфо-болотні та торфовища низинні [2, 3]. Відповідно до ґрунтово-кліматичного районування північна частина Хорольської громади віднесена до східної лісостепової ґрунтово-кліматичної зони, а південна до південно-західної ґрунтово-кліматичної зони на солонцюватих ґрунтах [10].

Ґрунти ХБС – різні типи чорноземів: типові на підвищенні і реградовані на схилах і дні яру.

Рослинний покрив навколишніх територій впливає на формування мікрокліматичних умов, а тваринний світ відіграє як позитивну, так і негативну роль у поширенні рослинності як природної, так й інтродукованої.

Основними типами рослинності Хорольської територіальної громади є сільськогосподарські угіддя на місці лучних степів та остепнених лук, сільськогосподарські угіддя на місці широколистяних лісів, низинні трав'яні болота, заплавні луки, місцями у поєднанні з лісами, чагарниками, болотами та сільськогосподарськими угіддями [3]. На окремих ділянках поширені широколистяні ліси із переважанням дубу та соснові ліси, а також так звані байрачні ліси. Лісовий фонд району, на якому сформувалася Хорольська територіальна громада складав на 1994 р. всього лише 3 тис. га, лісистість 2,8 % [10]. В місті Хорол на 1994 р. площа зелених масивів склала 400 га або 18,2 % загальної площі земель міста [10]. За іншою методикою обчислення 32,5 га [2]. За даними державного земельного кадастру станом на 01.01.2015 р. лісистість (тоді Хорольської району, а нині Хорольської територіальної громади)

становила 4,2 %. Площа земель вкритих лісовою рослинністю складала 4429 га з 4554 га земель лісового фонду [16]. Біля водойм – водна і прибережно-водна рослинність. Нині переважає культурна рослинність (агроценози). Природні ділянки степу збереглися лише на схилах балок і річкових долин [3].

Територія ХБС значно заліснена. На правому підвищеному березі струмка (північна частина) залишки колишнього дубового лісу, що був взятий під охорону в 1982 р. як заповідне урочище місцевого значення «Дубовий гай» [1, 17]. На схилах яру ростуть акацієво-дубові насадження з домішками берези, липи, бересту, клену [11]. Частина цих насаджень була включена 1992 р. до заповідного урочища «Заяр'є» [1].

Тваринний світ на Хорольщині найкраще зберігся поблизу водно-болотних угідь. З тварин лісу поширені ссавці: лисиця, куниця лісова, заєць-русак, їжак звичайний, білка звичайна, кажани, кріт звичайний, миша лісова; птахи: дятел великий строкатий, яструб великий, сова, плазуни: вуж звичайний, гадюка звичайна, ящірка прудка; земноводні: ропухи (зелена і сіра), жаба трав'яна; равлики, водомірки та інші комахи. Тваринний світ лук і боліт доповнюють бобер, журавель сірий, чаплі, лелека білий, качки, курочка водяна, лиска, кулики, лебідь білий, черепаха болотяна. Поблизу сільськогосподарський угідь миша польова, куріпка сіра, перепілка, жайворонок польовий. Пристосувалися до життя поблизу населених пунктів: пацюк сірий, миша хатня, ластівки, горобець, ворона, грак, голуб сизий. У водоймах водяться риби: лящ, плітка, окунь, карась, краснопірка, линь, щука, сом [3, 10]. Частину цих тварин можна зустріти на території ХБС. На одному із ставків акліматизувалася до умов проживання нутрія.

До червоної книги України занесені жук олень (*Lucanus cervus* L.), який зустрічається на території ботанічного саду у великій кількості, з рослин тис ягідний (*Taxus baccata* L.), дуб кошенільний (*Quercus cerris* L.), клокичка перистa (*Staphylea pinnata* L.), тюльпан дібровний (*Tulipa quercetorum* Klokov et Zoz), рястка Буше (*Ornithogalum boucheanum* (Kunth) Asch.), шафран сітчастий (*Crocus reticulates* Steven ex Adams), півонія тонколиста (*Paeonia tenuifolia* L.), цибуля ведмежа (*Allium ursinum* L.).

Науково-дослідні ділянки ХБС розташовані на північному боці яру-балки і добре освітлюються сонячними променями. Дубовий гай з півночі і район міської забудови захищають їх від сильних вітрів, пом'якшують вплив холодного повітря. Дубовий гай і лісонасадження урочища Заяр'я, разом із водними об'єктами, що розташовані на території ХБС утримують певний рівень вологості повітря у посушливі дні. Незважаючи на те, що дослідні ділянки огороджені, шкоду насадженням наносять землерийні тварини, птахи і комахи. На території ХБС гніздяться птахи, які є природними ворогами для комах, живуть плазуни і можуть заходити, наприклад, лисиці які регулюють чисельність землерийних тварин.

Комахи відіграють значну роль у природі: запилюють квіткові рослини, беруть участь у ґрунтоутворенні, є джерелом живлення інших тварин. Серед комах зустрічаються різні види метеликів, мухи, комарі, бабки, мурахи, джмелі, оси, бджоли [10]. Шкідниками плодових культур є: хрущі і їх личинки, довгоносики, тля, бронзівки, слимаки.

Головні висновки. Акцентована увага на внесених змінах щодо районування та умов дослідження субтропічних плодових культур на Полтавщині – у Хорольському ботанічному саду. Певні зміни можуть відбуватись і в наступні роки, на що варто звернути увагу при підготовці наукових публікацій.

Література

1. Красовський В. В., Козлов А. В. Ботанічний сад у системі ландшафтної забудови міста Хорола. Полтава : Дивосвіт, 2018. 116 с.
2. Географічна енциклопедія України : у 3 т. / редкол. : О. М. Маринич (відпов. ред.) та ін. Київ : «Українська Радянська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана. 1993. Т. 3 : П–Я. 480 с.
3. Полтавська область. Географічний атлас : Моя мала Батьківщина / Голова редкол. Л. М. Булава. К. : ТОВ «Видавництво «МАПА», 2004. 20 с.
4. Косміна О. Ю. Етнографічні регіони України. *Енциклопедія історії України.* Київ : Наук. думка, 2005. Т. 3 : Е–Й. С. 62–64. URL: http://history.org.ua/LiberUA/ehu/3.pdf.
5. Геоботанічне районування Української РСР / відп. ред. А. І. Барбарич. К. : Наукова думка, 1977. 306 с.
6. Google Earth / Геоінформаційна система. Розробка компанії Google Maxar Tehnologies CNES / Airbus Airbus. Дата зйомки з 11.09.2021. URL: https://earth.google.com/web/@49.77698953,33.27432764,115.44410953a,10997.42898026d,35y,0h,0t,0r (дата звернення : 12.07.2023).
7. Географія Полтавщини. URL: http://geo.pnpu.edu.ua. (дата звернення : 12.07.2023).
8. Адміністративно-територіальний устрій Полтавської області. URL: https://oblrada-pl.gov.ua/page/administratyvno-terytorialnyy-ustriy (дата звернення : 17.07.2023).
9. Козлов А. В., Козлов В. А., Лисенко Ю. О. Хорольщина : Енциклопедичний довідник. Полтава : «Оріяна», 2007. 106 с.
10. Полтавська область : Природа, населення, господарство. Географічний та історико-економічний нарис : навч. посібник / К. О. Маца. 2-ге вид., перероб. Полтава : Полтавський літератор, 1998. 336 с.
11. Проєкт організації території Хорольського ботанічного саду. Київ : ДП «НДПІ містобудування», 2014. 138 с.
12. Булава Л. М. Полтавщина : Природа. Традиції. Культура. Полтава : Оріяна, 2007. 104 с.

13. Мапа морозостійкості України. URL: https://www.ars.usda.gov/midwest-area/ames/plant-introduction-research/home/maps/page-3/ (дата звернення : 24.07.2023).
14. Красовський В. В., Черняк Т. В., Козлов А. В., Орловський О. В. Встановлення критеріїв добору субтропічних рослин для інтродукції в лісостепу України. *Екологічні науки*. 2022. № 3 (42). С. 157–162. DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.3-42.26.
15. Кожевнікова О. М. Краєзнавство (травень, 2015). URL: http://horol.com.ua/ (дата звернення : 17.07.2023).
16. Обласна цільова програма комплексного розвитку лісового господарства «Ліси Полтавщини на 2015–2025 роки» (проєкт). URL: https://issuu.com/341632/docs/ (дата звернення : 28.07.2023).
17. Заповідна краса Полтавщини / Т. Л. Андрієнко та ін. Полтава : ІВА «Астрея», 1996. 188 с.

УДК 574.42
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.29

ОЦІНКА ПРОСТОРОВОГО ПОШИРЕННЯ ІНВАЗІЙНИХ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ У БОРЕАЛЬНИХ ЛІСАХ СЕРЕДНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Лукіша В.В., Мовчан М.М.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

На модельному об'єкті – лісовому масиві «Білоозерська дача» (3366,1 га) Національного природного парку «Білоозерський» вивчені окремі особливості просторового поширення інвазійних *Robinia pseudoacacia L*., *Quercus rubra Du Rei* та *Acer negundo L.* в соснових та мішаних лісових насадженнях. Зазначено, що основними індикаторами експансії є динаміка площі деревостанів за участі інвазійних видів та території, зайнятої вегетативним та насіннєвим поновленням (підростом). Окреслена одна з важливих проблем, що потребує розв'язання, – з'ясування характеру та особливостей просторового поширення інвазивних деревних видів.

Кількісні показники просторового поширення інвазійних видів отримували керуючись таксаційними описами шляхом видільної вибірки насаджень з часткою інвазійних видів у деревостані та (або) площ їх підросту. При цьому до загальної площі зараховувалися лісові ділянки, де частка інвазійних порід становила від 5 до 100%. Динаміка поширення насіннєвого та вегетативного поновлення інвазійних видів свідчить, що найсприятливішим для його появи та експансії був період початку 2000-х років. Підріст інвазійних рослин поширюється в біотопах, різних за вологістю та трофністю ґрунтів, демонструючи при цьому схильність до затінення. Небезпека поширення підросту *Robinia pseudoacacia L.* та *Acer negundo L.,* зважаючи на складність його елімінації, зростає. Так, станом на кінець 2020 року площі лісових насаджень за участі інвазійних видів у деревостані та підрості займали 30,6% вкритої лісом території лісового масиву. Найбільшу площу займають лісові насадження *Robinia pseudoacacia L*., вона поширена в 7 біотопах проти 4 – у *Acer negundo L.* і 3 – у *Quercus rubra Du Rei*. *Ключові слова:* інвазійні види деревних рослини, експансія, лісові насадження, деревостан, підріст, вегетативне та насіннєве поновлення території, трофність ґрунтів, таксаційний опис, біотопи.

Assessment of the spatial distribution of invasive tree species in the boreal forests of the Middle Dnieper region. Lukisha V., Movchan M.

Some features of the spatial distribution of invasive *Robinia pseudoacacia L., Quercus rubra Du Rei and Acer negundo L.* in pine and mixed forest stands were studied at the model site – the forest massif "Biloozerska Dacha" (3366.1 ha) of the National Nature Park "Biloozersky". The main indicators of expansion are the dynamics of the area of stands with the participation of invasive species and the area occupied by vegetative and seed regeneration (undergrowth). One of the important problems that needs to be solved is outlined – clarification of the nature and features of the spatial distribution of invasive tree species.

Quantitative indicators of the spatial distribution of invasive species were obtained from tax descriptions by selecting stands with a share of invasive species in the stand and (or) areas of their undergrowth. At the same time, forest plots were included in the total area, the share of invasive species in which was from 5 to 100%. The dynamics of the spread of seed and vegetative renewal of invasive species shows that the period of the early 2000s was the most favorable for its appearance and expansion. The growth of invasive plants spreads in biotopes that differ in soil moisture and trophicity, showing tolerance to shading. The danger of spreading undergrowth of *Robinia pseudoacacia L.* and *Acer negundo L.* increases due to the difficulty of its elimination. As of the end of 2020, the area of forest plantations with the participation of invasive species in the tree stand and undergrowth already occupied 30.6% of the forested area of the forest massif. The largest area is occupied by forest plantations with the participation of *Robinia pseudoacacia L.,* it is common in 7 biotopes against 4 – in *Acer negundo* L. and 3 – in *Quercus rubra Du Rei*. *Key words:* invasive woody plants, expansion, forest plantations, stand, undergrowth.

Постановка проблеми. Серед загроз біорізноманіттю та стійкості природних екосистем чільне місце посідає проблема інвазій. Однією з найбільш визнаних причин їх розвитку вважаються процеси синантропізації, зокрема адвентизації. В охоронних лісах, у тому числі й на територіях природно-заповідного фонду, створених на основі напівприродних лісів, низка видів деревних рослин завдяки їх певним цінностям (приріст та технічні якості деревини, декоративність, медоносність тощо) додавалися до складу лісових насаджень. Не маючи природних ворогів, вони відображають інвазійні властивості, поширюючись у лісостанах і витісняючи аборигенні види та стають едифікаторами.

Актуальність дослідження. Середнє Подніпров'я – один із регіонів, де вагому частку займає адвентивна флора. Синантропна фракція лісового та чагарникового комплексів Середнього Придніпров'я нараховує 262 види судинних рослин, у тому числі 162 – адвентивних [1]. Серед високоактивних інвазійних видів деревних рослин у лісових фітоценозах, поширених в Середньому Придніпров'ї, є робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia L.*), дуб червоний (*Quercus rubra Du Rei*) та клен ясенолистий (*Acer negundo L.*) [1, 2, 3]. Ці види внесені також до офіційного списку інвазійних видів, заборонених до використання в Україні під час відтворення лісів [4].

Зважаючи на те, що інвазійні деревні рослини вкорінюються у фітоценози та виконують роль едифікаторів, які впливають на абіотичні та біотичні елементи лісових екосистем, актуальними завданнями досліджень є з'ясування характерних особливостей просторового поширення інвазійних видів, що загрожують існуванню аборигенних видів і екосистем [5].

Об'єктом досліджень стали хвойні та мішані лісостани за участі інвазійних деревних рослин.

Предмет досліджень – характерні особливості просторового поширення інвазійних видів деревних рослин у лісостанах НПП «Білоозерський», природоохоронний статус якого отримано в 2009 році.

Основними завданнями дослідження є визначення кількісних показників просторового поширення інвазійних деревних рослин, чинників експансії потомства інвазійних деревних рослин та особливостей інвазій окремих видів у соснових та мішаних насадженнях.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведені в рамках виконання Пріоритетних напрямків наукових досліджень Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління на 2021–2025 рр., п. 8. «Розробляння методологічних та методичних засад збереження та відтворення біотичного та ландшафтного різноманіття в природно-заповідному фонді та екологічної мережі України» [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасних наукових публікаціях в Україні проблемі фіто забруднення останнім часом приділяється значна увага. Зазначається, що основними чинниками поширення інвазійних рослин є синантропізація та адвентизація [1]. Під посиленим пресингом фітоінвазій знаходяться й охоронні території. Акцентується увага на здатності екосистем охоронних територій протистояти фітоінвазіям. Характер та механізм резистентності охоронних територій до фіто інвазій залежить від тривалості охорони. За тривалості охорони понад 60 років коефіцієнт адвентизації лише за деякими винятками, стабілізується і не перевищує 10%. Термін охорони коротший за 40 років не надає стабільності щодо участі чужинних видів, вона залишається високою і неймовірно динамічною.

Найбільш вразливими для вторгнення інвазійних видів є штучні хвойні насадження, що зазнали посиленого антропогенного впливу, зокрема, фрагментовані. Широколистяно-лісові фітоценози, насамперед, у зв'язку із високим затіненням нижніх ярусів, проявляють більш значиму дію «еко-ценотичного фільтра» для синантропної компоненти флори [1]. Лімітуючу роль у масовості поширення та ступеня натуралізації інвазійних видів відіграє гумідність/аридність клімату [8].

Відчутні зміни видового складу флорокомплексів можуть спричинити види трансформери, що знаходяться у стані експансії, активно і масово ущільнюють ареал, зокрема, *Acer negundo L.* та *Robinia pseudoacacia L.* [1]. Значне поширення *Acer negundo* L. та *Robinia pseudoacacia L.* в соснових та дубово-соснових деревостанах на Середньому Придніпров'ї ще в 1990-х роках зазначав В.І. Мельник [2].

Л.В. Зав'яловою (2017) складено список 100 інвазійних видів судинних рослин, найбільш небезпечних для фіто-різноманіття об'єктів ПЗФ України загальнодержавного значення. За критеріями пріоритетності перелік інвазійних видів складені у формі короткого конспекту із трьох списків: Чорного (17 видів), Сірого (50 видів) та Тривожного (33 види). До Чорного списку віднесено також поширені в лісових флоро-комплексах клен ясенолистий (*Acer negundo L.*), робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia L.*) та дуб червоний (*Quercus rubra Du Rei*) [9]. Такі види також є в переліку 64 видів судинних рослин, які складають групу високоактивних інвазійних видів [7].

Acer negundo L.: кенофіт північноамериканський, ергазіофіт, фанерофіт, мезофіт, температно-меридіональний, європейсько-американський. До Європи був завезений у XVII ст., на терені України – з 1809 року. Плодоносити може з 5–7 річного віку, має алелопатичні властивості. Поширення *Acer negundo L.* у лісопарках, парках, в полезахисних смугах, в придорожніх насадженнях та лісах значно посилилося в другій половині XX ст. [9, 10].

Robinia pseudoacacia L.: кенофіт північноамериканський, ергазіофіт, фанерофіт, ксеромезофіт; температно-меридіональний, європейсько-американський, має алепатичні властивості. В культурі з 1601 року, в Україні – з XVIII ст. В Україні впродовж півтора століття вид широко використовувався для озеленення та лісорозведення, зокрема на Півдні, нині в Середньому Придніпров'ї став характерним для лісових угруповань класу Robinietea [1].

Quercus rubra L.: кенофіт північноамериканський, ергазіофіт, фанерофіт, ксеромезофіт; температно-меридіональний, європейсько-американський. В Європі уведений в культуру в 1691 р. На терені України вперше з'явився у 1809 р., поширення цього виду було досить стрімким [8]. У 70-х роках минулого століття площа лісових культур з домінуванням у складі Quercus rubra L. в лісовому фонді України перевищувала понад 6 тис. га.

Отже, робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia L.*), дуб червоний (*Quercus rubra Du Rei*) та клен ясенолистий (*Acer negundo L.*) серед інвазійних видів деревних лісотвірних рослин є одними з найбільш поширених і небезпечних для аборигенної флори Середнього Придніпров'я.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Одним із недостатньо вивчених питань загальної проблеми інвазій є характер і особливості просторового поширення інвазійних видів деревних рослин в лісостанах Середнього Придніпров'я.

Новизна. Вперше досліджено особливості та характер просторового поширення інвазійних деревних рослин у соснових та мішаних лісостанах лівобережної частини Середнього Придніпров'я.

Методологія та методи. Із загальнонаукової методології в роботі застосовано системний підхід, який полягає у комплексному дослідженні великих і складних об'єктів (систем), як єдиного цілого з узгодженим функціонуванням усіх елементів і частин.

Основними *методами* досліджень, використаними в праці, визначені: лісівничо-таксаційний, спостереження, розрахунково-порівняльний та аналітичний. Використання модельного лісового масиву дає змогу отримати інформацію про об'єкт дослідження, тобто соснові та мішані листяно – соснові лісостани Середнього Придніпров'я з аналогічними еколого-ценотичними умовами.

Кількісні показники просторового поширення інвазійних видів деревних рослин отримували з таксаційних описів шляхом видільної вибірки насаджень з наявністю інвазійних видів в деревостані та (або) підрості, які доповнювалися натурними спостереженнями. До загальної площі деревостанів з інвазійними видами додвалися також лісові ділянки з їх часткою в породному складі до 5%, тобто з індексом (+), оскільки навіть поодинокі дерева є джерелом діаспор для поширення виду.

Викладення основного матеріалу. Для виконання завдань дослідження було обрано як модель лісовий масив «Білоозерська дача» (вкрита лісом площа – 3366,1 га), що входить до складу НПП «Білоозерський» і простягається вздовж лівого берега Дніпра. За фізико-географічним районуванням ця територія належить до Лісостепової зони, Ліво-бережно-дніпровського лісостепового краю, Північнопридніпровської терасної низовинної області. Ґрунтоутворюючими породами на території НПП переважно є алювіальні піски та супіски із прошарками суглинку, на яких сформовані дерново-слабопідзолисті піщані ґрунти під сосновими та дубово-сосновими лісами.

Найбільш поширеними біотопами тут є сугруди та субори в свіжих гігротопах, а типами лісу – свіжа грабово-дубово-соснова судіброва ($С_2$ГДС), свіжа грабово-сосново-дубова судіброва ($С_2$ГСД), свіжа грабово-дубова судіброва ($С_2$ГД), та свіжий дубово-сосновий субір (В2ДС). Серед панівних порід (едифікаторів) 69,3% площі займають автохтонні сосна звичайна, 24,3% – дуб звичайний, решта припадає на березу повислу, осику, вільху чорну, берест, клен польовий, липу серцелисту та ін. Лісостани штучного походження займають 67,6% вкритих лісовою рослинністю земель, а в межах Білоозерської дачі ця частка складає 75,6%. Масштабне заліснення піщаних та супіщаних терас Лівобережжя Дніпра проводилося в кінці XIX – початку XX ст.

Дослідження засвідчують високий рівень синантропізації флори НПП «Білоозерський», зумовлений особливостями території парку – наявністю багатьох населених пунктів, широкої мережі автомобільних доріг, надмірними вирубками тощо [12].

Деревостани. Аналіз бази даних лісовпорядкування 2006 і 2021 рр. виявив тенденції загальної динаміки інвазійних деревних рослин *Robinia pseudoacacia L.*, *Quercus rubra Du Rei*, *Acer negundo L.* в лісостанах НПП «Білоозерський». За 15 років площа насаджень з *Robinia pseudoacacia L.* як панівної породи – едифікатора (з участю в I ярусі 0,6–1,0) зросла з 79,5 до 100,2 га, або на 25,7%. (рис. 1)

Quercus rubra Du Rei як панівна порода-едифікатор на території НПП займає 9,2 га, площа насаджень його участю розширилася на 2,2%. Площа насаджень з *Acer negundo L.* як панівної породи в НПП нині дещо зменшилася – з 3,3 до 2,6 га, вірогідно, завдяки господарським заходам з елімінації з деревостану цього виду. Однак, як показали дослідження, це не перешкоджає його експансії як супутньої породи (субедифікатора).

Аналіз повидільної бази даних Білоозерської дачі дав змогу окреслити кількісні показники просторового поширення інвазійних видів в деревостанах. Деревостани з участю *Robinia pseudoacacia L.* нині

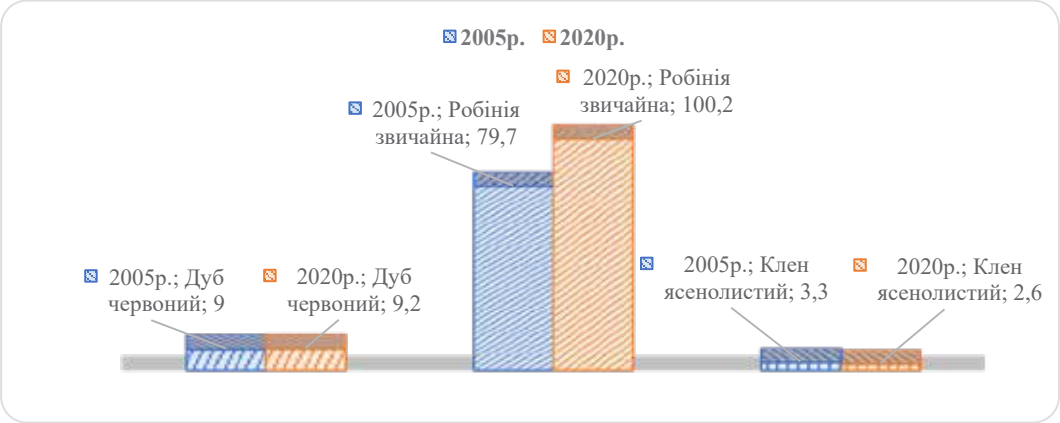


Рис. 1. Динаміка площі деревостанів з інвазійних деревними рослинами в НПП «Білоозерський»

займають 567,4 га, з *Quercus rubra Du Rei*– 70,5 га, та *Acer negundo L.*– 49,8 га (табл. 1).

Robinia pseudoacacia L. виявилася найбільш агресивним інвазійним видом в деревостанах Білоозерської дачі, що загалом узгоджується з даними для всієї території НПП. Завдяки екологічній пластичності, здатності до насіннєвого і вегетативного розмноження, алопатичного впливу на аборигенну флору вона зайняла екологічні ніші в 7 біотопах, включаючи свіжий сосновий бір.

На певних етапах заліснення масиву робінія заносилася до складу лісових культур. Найстаріші штучні насадження робінії з сосною звичайною і дубом звичайним, віком 87 років, виявлені в кварталі 25 – виділ 15, тип лісу – свіжий грабово-дубово-сосновий сугрудок ($С_2$ГДС), формула нинішнього складу насадження – 8Акб1Дз1Сз, висота робінії – 26 м, сосни – 29 м, дуба – 25 м. Проте в переважній частині штучних насаджень *Robinia pseudoacacia L.* ідентифікується як порода природного походження. В останні кілька десятиліть уведення *Robinia pseudoacacia L.*в культуру не спостерігалося.

Robinia pseudoacacia L. увійшла до складу першого та другого ярусів деревостанів. Монодомінантні деревостани з *Robinia pseudoacacia L.* в I ярусі займають 43,7 га на 23 ділянках. У II ярусі *Robinia pseudoacacia L.* присутня переважно насадженнях віком понад 75–120 років, як домінант зростає на 10 ділянках загальною площею 73,6 га, при цьому 88,2% – вегетативного походження, вік – 30–40 років.

Quercus rubra Du Rei поширений виключно в штучних насадженнях в I ярусі деревостану. Переважають мішані насадження з його участю близько 10% (0,1), за винятком 2 ділянок загальною площею 4,2 га з часткою у породному складі відповідно 0,7 і 0,4. Найстарші насадження за участі *Quercus rubra Du Rei* мають вік 52 роки, наймолодші – 20 років.

Конкурентоздатність *Quercus rubra Du Rei* дослідники оцінюють неоднозначно, що пов'язано, з різноманітністю еколого-ценотичних умов об'єктів досліджень. В біотопах з достатньою зволоженістю та трофністю ґрунтів (вологі та свіжі діброви та сугруди) *Quercus rubra Du Rei* виявляє інвазійні спроможності в повній мірі, витісняючи інші породи I ярусу (дуб звичайний, сосну звичайну, ясен звичайний, березу повислу). В свіжих суборах конкурентоздатність *Quercus rubra Du Rei* істотно знижується [3, 7, 12, 13, 14].

В складних насадженнях конкурентність *Quercus rubra Du Rei* часто залежить від періоду онтогенезу деревних рослин. Наприклад, у свіжому грабово-дубовому сугрудку (квартал 26 виділ 14) 24-річне вегетативне потомство листяних порід (липа дрібнолиста, дуб звичайний, береза повисла, клен гостролистий т. і.), яке в ювенільному періоді росте швидше від насіннєвого, конкуренцію з боку штучно уведеного дуба червоного витримує і перебуває з ним в одному ярусі. В іншому випадку (квартал 69, виділ 9) в 46-річному штучному мішаному насадженні з сосною звичайною та кленом гостролистим, біотоп – свіжий сугрудок, дуб червоний став домінантом (едифікатором), виявляючи інвазійні властивості.

Acer negundo L. в деревостанах поширений в 4 біотопах, займає відносно невелику площу (49,8 га). Більша частина площі ділянок (71,1%) з його участю припадає на свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд, трапляється і в свіжому суборі. Перебуває переважно в I ярусі деревостанів у складі з іншими породами переважно з участю 0,05–0,5, походження його – насіннєве і вегетативне 20,1%. Єдине насадження з *Acer negundo L.* в другому ярусі площею 5,8 га виявлено в кварталі 5, виділ 12, біотоп свіжа грабово-дубово-соснова судіброва. В I ярусі – сосна звичайна з дубом звичайним віком 127 років зімкнутість намету – 0,4 в II ярусі – монодомінантий *Acer negundo L.* віком 35 років. Випадків уведення *Acer negundo L.* в культуру не виявлено.

Підріст. Індикатором експансії будь-якого адвентивного виду в лісових біогеоценозах є поширення його насіннєвого чи вегетативного потомства (підросту). В Білоозерській дачі підріст інвазійних видів має густоту від 1 до 10 тис/га, при цьому найбільша кількість ділянок має густоту 2–3 тис/га та 5–6 тис/га. Загальна площа, зайнята підростом, складає 508,2 га, при цьому він присутній як на ділянках з деревостаном цих порід, так і без нього. Найбільш інтенсивно розповсюджується підріст *Robinia pseudoacacia L.*, площа, зайнята ним, складає 82,4% загальної площі, зайнятої підростом інвазійних порід (табл. 2). Інтенсивність експансії *Robinia pseudoacacia L.* посилюється при проведенні рубок, зокрема санітарних. На освітлених ділянках з'являється підріст робінії, а спроби його механічного видалення спри-

Таблиця 1

Розподіл деревостанів з інвазійними видами за типами лісу, га

Вид	$С_3$ГДС	$С_3$ГД	$С_2$ГДС	$С_2$ГД	$В_2$ДС	$В_3$ДС	$А_2$С	Разом
Робінія	8,9	13,7	294,4	37,5	204,7	6,2	2,0	567,4
Дуб червоний	2,0		62,5	6,0				70,5
Клен ясенолистий	2,5		34,0	7,6	5,7			49,8
Разом	13,4	13,7	390,9	51,1	210,4	6,2	2,0	687,7

Таблиця 2

Розподіл підросту інвазійних видів за типами лісу, га

Вид	$С_3$ГДС	$С_3$ГД	$С_2$ГДС	$С_2$ГД	$В_2$ДС	$А_2$С	Разом
Робінія звичайна	4,7	4,8	237,2	4,1	161,5	6,4	418,7
Дуб червоний			26,2		0,4		26,6
Клен ясенелистий			56,8	0,6	5,5		62,9
Разом	**4,7**	**4,8**	**320,2**	**4,7**	**167,4**	**6,4**	**508,2**

чиняють активізацію коренепаросткового відновлення. Боротися з ним важко, оскільки ефект рубань підросту виявляється не істотним, а застосовувати арборициди не дозволяє природоохоронний статус території.

Конкурентність підросту *Robinia pseudoacacia L.* виявилася досить високою – близько 60% загальної його площі складають монодомінантні угруповання, на решті площі підріст *Robinia pseudoacacia L.* зростає з дубом звичайним, берестом, дубом червоним, кленом гостролистим, кленом ясенолистим, липою серцелистою, грушою звичайною.

Підріст *Robinia pseudoacacia L.* має найвищий рівень еврібіонтності – він розповсюджується в шести біотопах (типах лісу), в той час як *Quercus rubra Du Rei* – в двох, *Acer negundo L.* – в трьох (табл. 2).

Підріст *Quercus rubra Du Rei* серед інших інвазійних видів займає найменшу площу і поширюється в насадженнях, сприятливих для експансії. Наприклад, на ділянці площею 2,6 га (виділ 1 кварталу 55) в штучному 38-річному насадженні сосни звичайної з домішкою дуба червоного, дуба звичайного, липи дрібнолистої, берези повислої, розрідженому в результаті елімінації дерев сосни, уражених кореневою губкою, з'явився підріст *Quercus rubra Du Rei* насіннєвого походження густотою 2 тис. шт./га, у 5 річному віці він має висоту 2 м. За даними європейських науковців найсприятливішим чинником поширення жолудів дуба червоного є гризуни, зокрема щурі, білки, лісові миші та дикий кабан [12]. *Quercus rubra Du Rei* поширюється у напівприродних рослинних угрупованнях, створюючи великі колонії [8, 9]. Домінування дуба червоного у підрості свідчить про ефективність його поширення, навіть за незначної представленості виду у деревостані [14].

На фоні меншої площі деревостанів за участі *Acer negundo L.,* порівняно з *Quercus rubra Du Rei,* інтенсивність експансії підросту *Acer negundo L. спостерігається* помітно вища. Займаючи здебільшого освітлені ділянки лісу вздовж просік, доріг, галявин тощо, клен ясенолистий завдяки високій насіннєвій продуктивності активно проникає в глибину насаджень. Небезпека поширення підросту *Acer negundo L.* зростає у зв'язку зі складністю його викорінення.

Сильватизація галявин є одним із видів експансії інвазійних видів, які швидко заповнюють екологічні ніші. Так, монодомінантне насадження *Acer negundo L.* віком 20 років на біогалявині площею 1,1 га формується на ділянці виділу 24 кварталу 24. Висота насадження 5 м, густота рослин – 2 тис/га. В кварталі 55 виділ 13 досить велика біогалявина площею 1,5 га, біотоп – свіжа грабово-дубово-соснова судіброва, інтенсивно заростає підростом *Robinia pseudoacacia L.*, вік його – 5 років, середня висота 5 м, густота рослин – 2 тис. шт./га. А біогалявина площею 0,4 га в кв. 40 виділ 5 заросла природним поновленням *Quercus rubra Du Rei* з *Betula pendula Roth*, вік його 15 – років, висота – 4 м, склад насадження – 9Дчр1Бп, біотоп – свіжий дубово-сосновий субір.

Розподіл підросту інвазійних порід за віком показує, що 77,4% загальної площі розповсюдження припадає на підріст старше 10 років (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл підросту інвазійних порід за віком, га

Вік підросту	5–10 р.	11–30 р.	Разом
Робінія звичайна	111,4	307,3	418,7
Дуб червоний	2,6	24,0	26,6
Клен ясенолистий	0,9	62,0	62,9
Разом	114,9	393,3	508,2

Понад 60% підросту інвазійних рослин мають вік 15–20 років, отже, найбільш сприятливі умови для його появи були на початку 2000-х років.

Зімкненість намету деревного ярусу має істотне значення для появи і життєдіяльності підросту лісотвірних порід (табл. 4).

По видільний аналіз бази даних показує, що підріст *Robinia pseudoacacia L.* поширюється в деревостанах з різною зімкненістю і при відомій геліофітності цього виду [11] підріст його досить толерантний до затінення: 60,9% площ підросту зосереджені на ділянках із зімкненістю намету 0,6–0,7, трапляється також і при більшій (0,8) зімкненості деревостану

Підріст *Quercus rubra Du Rei* поширений здебільшого в зріджених насадженнях із зімкненістю 0,45–0,5, хоча трапляється і в більш зімкнених деревостанах. Щодо *Acer negundo L.*, то найбільші площі підросту цього виду займають в насадженнях зімкненістю 0,5–0,6.

До розрахунку загальної площі поширення інвазійних деревних рослин нами включалися усі ділянки з деревостаном та підростом інвазійних видів. Ділянки, які містять по кілька інвазійних

Таблиця 4

Поширення підросту інвазійних фанерофітів залежно від зімкненості намету насаджень

Вид рослин	Площа ділянок з підростом, га при зімкненості намету								Разом, га
	≤0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8	
Робінія звичайна	26,4	5,6	45,7	70,5	78,3	43,2	133,3	15,7	418,7
Дуб червоний	0,4	12,6	11,0					2,6	26,6
Клен ясенолистий	1,1		24,1		26,8		8,6	2,3	62,9
Разом	27,9	18,2	80,8	70,5	105,1	43,2	141,9	20,6	508,2

видів та одночасно в деревостані і підрості, до розрахунку поширення виду включалися одноразово, щоб не спотворювати результати у бік збільшення загальної площі.

Наприклад, площа насаджень з ділянками, на яких *Robinia pseudoacacia L.* зростає як деревостані, так і в підрості, в тому числі разом з іншими інвазійними видами, складає 133,4 га. Тоді загальна площа лісостанів з участю робінії складе 567,4+418,7-133,4=852,7 га. Відповідно загальна площа лісостанів з участю дуба червоного складе 81,9 га, клена ясенолистого – 93,8 га.

Отже, загальна площа лісостанів з участю інвазійних деревних рослин в деревостанах і підрості досягла 1028,4 га, або 30,6% загальної площі масиву, вкритої лісом. У екологів такий тренд викликає занепокоєння, оскільки зростають загрози для біотичного різноманіття і стійкості лісових екосистем НПП «Білоозерський». Оскільки експансія інвазійних видів у зв'язку зі зниженням стійкості лісів, зокрема, бореальних, в умовах глобального потепління може посилюватися, необхідність наукового обґрунтування та вжиття засобів протидії інвазіям стають одними з пріоритетних завдань діяльності установ природно-заповідного фонду.

Головні висновки. Лісостани за участі інвазійних деревних рослин (*Robinia pseudoacacia L.*, *Quercus rubra Du Rei*, *Acer negundo L.*) в лісовому масиві «Білоозерська дача» займають 1028,4 га, або 30,6% вкритої лісом площі. Розширення цієї площі відбувається за рахунок насіннєвого і вегетативного потомства інвазійних видів, яке по мірі розвитку насаджень переходить в деревостан. Найвищий рівень загроз для природного аборигенного фіторізноманіття надходить від експансії *Robinia pseudoacacia L.*, що поширена на 852,7 га, або 25,3% площі масиву, вкритої лісом. Підріст інвазійних рослин, як один із основних індикаторів експансії, поширюється в біотопах, різних за вологістю та трофністю ґрунтів, виявляючи при цьому толерантність до затінення. Небезпека поширення підросту *Robinia pseudoacacia L.* та *Acer negundo L.*, зростає у зв'язку зі складністю його викорінення. Експансія інвазійних рослин потребує вжиття системи заходів протидії цьому явищу (моніторинг, попередження, елімінація, супровід), які мають здійснюватися на наукових засадах.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть слугувати інформаційною основою для управління видовим складом охоронних бореальних лісів Середнього Придніпров'я з експансією інвазійних деревних рослин.

Література

1. Федорончук М.М., Протопопова В.В., Шевера М.В., Шевчик В.Л., Джуран В.В., Крецул Н.І., Ярова О.А. Синантропізація лісового та чагарникового флорокомплексів Середнього Придніпров'я (Україна). Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія. 2020. Т.12. № 2. С. 263-278. *https:// doi.org/10.31861/biosystems2020.02.263*.
2. Мельник В.І. Залишки корінних дубово-соснових лісів на Лівобережжі Середнього Придніпров'я. *УБЖ.* 1994. Т. 51. № 2-3. С. 48-51.
3. Познякова С.І. Сучасний стан видів інтродуцентів в лісових насадженнях і дендропарках Лівобережного Лісостепу України. Збереження рослин у зв'язку зі змінами клімату та біологічними інвазіями. Матеріали міжнародної наукової конференції 31 березня 2021 року. С. 115-119.
4. Про затвердження Переліку інвазійних видів дерев із значною здатністю до неконтрольованого поширення, заборонених до використання у процесі відтворення лісів. Наказ Міндовкілля від 03.04.2023 № 184. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 19 квітня 2023 р. за № 641/39697. *https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0641-23#Text*.
5. Дідух Я. П., Протопопова В.В., Кучер О.О., Зав'ялова Л.В., Шевера М.В. Актуальні завдання дослідження фіто інвазій в Україні. Синантропізація рослинного покриву України. ІІІ Всеукраїнська наукова конференція, 26-27 вересня 2019 р., м. Київ: зб. наук. статей К., 2019. С. 48-49.
6. Пріоритетні напрямки роботи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління Міндовкілля на 2021–2025 рр. Схвалено на засіданні Вченої ради № 3–31 від 17.09.2021 р. *URL: http://dea.edu.ua/prioritetni_napryami_ndr/*
7. Протопопова В.В., Шевера М.В. Інвазійні види у флорі України. І. Група високо активних видів. *https://doi.org/10.15407/gb.2019.17.116.*
8. Зав'ялова Л. В. Види інвазійних рослин, небезпечні для природного фіто різноманіття об'єктів природно-заповідного фонду України. Біологічні системи. т. 9. вип. 1. 2017. С. 87-107.

9. Протопопова В.В., Шевера М.В., Федорончук М.М., Шевчик В.Л. Види-трансформери у флорі Середнього Придніпров'я. Укр. ботан. журн. 2014. Т. 71, № 5. С. 563-572.
10. Клименко Т.К., Сягайло І.О. Успішність впровадження інвазійних видів деревних рослин в урбофітоценози. Екологічні науки № 1(28). С. 328-334. *DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.53*
11. Івченко А.І. Дуб червоний *(Quercus rubra L.)* в лісових насадженнях Львівщини: автореф. дис. канд. с-г. наук: спец. 06.03.03. Львів. 2002. 18 с.
12. Ярова О.А. Синантропна флора Національного природного парку «Білоозерський». Синантропізація рослинного покриву України (27–28 вересня 2012 р., м. Переяслав–Хмельницький). Тези наукових доповідей. Київ–Переяслав–Хмельницький, 2012. С. 92-93.
13. Івченко А. І. Історія впровадження дуба червоного. Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. 2002. Вип. 12.4. С. 35-40.
14. Любінська Л.Г., Оптасюк О.М. *Quercus rubra* в умовах заповідних територій Хмельниччини. Синантропізація рослинного покриву України. ІІІ Всеукраїнська наукова конференція, 26-27 вересня 2019 р., м. Київ: зб. наук. статей. К., 2019. С. 99-103.

УДК 615.89
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.30

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ҐРУНТУ НА КОНЦЕНТРАЦІЮ ФЛАВОНОЇДУ РУТИНУ У ЗВІРОБОЇ ЗВИЧАЙНОМУ (*HYPERICUM PERFORATUM* LINNEUS, 1753)

Степанов Є.В., Пасічник С.В.
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
вул. Графська, 16600, м. Ніжин
evgeniystepanov_b@ukr.net, svpas1964@gmail.com

У статті досліджується вплив мікроелементів ґрунту на концентрацію флавоноїдів у деякій лікарській рослинній сировині. У якості досліджуваної рослини було використано звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* Linneus, 1753). Рослинна сировина, як і досліджувані зразки ґрунту, були зібрані у різних районах в один і той же час. Територія збирання – Чернігівська область, Ніжинський район. Рослинна сировина висушувалася та зберігалася відповідно до стандартів державної фармакопеї. Екстракція та вимірювання концентрації флавоноїдів проводилося за методикою державної фармакопеї, розділ лікарська рослинна сировина, звіробій звичайний. Сировина детально зважувалася на лабораторних вагах після чого відправлялася на екстракцію. Після екстракції на водяній бані, виміряли оптичну щільність розчинів досліджуваної рослинної сировини за допомогою спектрофотометра, після чого виміряли за формулою концентрацію флавоноїдів у відсотках у перерахунку на рутин. Досліджувані зразки ґрунту, після збирання, фасувалися у спеціальні тари та зберігалися згідно стандартів ГОСТ (ДСТУ). Мікроелементи ґрунту досліджувалися методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою у дочірній лабораторії. Досліджувалися наступні мікроелементи ґрунту: Бор(B), Кобальт(Co), Купрум(Cu), Магній(Mg), Манган(Mn), Молібден(Mo). Після отриманих результатів було створено кореляційні таблиці та графіки залежності кожного досліджуваного мікроелемента ґрунту. Проведене дослідження дало змогу проаналізувати вплив мікроелементів ґрунту, виявити у кожного з них властивості інгібувати, або активувати біологічні процеси у рослин для підвищення, або зменшення концентрації флавоноїдів у лікарській рослинній сировині, зокрема рутину. Спираючись на отримані результати, можна говорити про рекомендації, що до внесення, або вилучення добрив, які мають досліджувані мікроелементи. *Ключові слова:* флавоноїди, рутин, лікарська рослинна сировина, біологічно активні речовини, мікроелементи ґрунту, звіробій звичайний (*Hypericum perforatum*).

Analysis of the influence of some soil micro elements on the concentration of the flavonoid rutin in *Hypericum perforatum* (Linneus, 1753). Stepanov Ye., Pasichnyk S.

The article examines the effect of soil trace elements on the concentration of flavonoids in some medicinal plant materials. *Hypericum perforatum* (Linneus, 1753) was used as the research plant. The plant material, as well as the studied soil samples, were collected in different areas at the same time. The collection area is Chernihiv region, Nizhyn district. Plant raw materials were dried and stored in accordance with the standards of the state pharmacopoeia. Extraction and measurement of the concentration of flavonoids was carried out according to the methodology of the state pharmacopoeia, medicinal plant raw materials section, St. John's wort. The raw material was weighed in detail on laboratory scales, after which it was sent for extraction. After extraction in a water bath, the optical density of the solutions of the studied plant material was measured using a spectrophotometer, after which the concentration of flavonoids was measured as a percentage in terms of rutin according to the formula. The studied soil samples, after collection, were packaged in special containers and stored according to GOST (DSTU) standards. Soil microelements were studied by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma in a subsidiary laboratory. The following trace elements of the soil were studied: (B), (Co), (Cu), (Mg), (Mn), (Mo). After the obtained results, correlation tables and graphs of the dependence of each studied microelement of the soil were created. The conducted research made it possible to analyze the influence of soil microelements, to reveal the properties of each of them to inhibit or activate biological processes in plants to increase or decrease the concentration of flavonoids in medicinal plant raw materials, in particular rutin. Based on the obtained results, it is possible to talk about recommendations for the introduction or removal of fertilizers that have the studied microelements. *Key words:* flavonoids, rutin, medicinal plant raw materials, biologically active substances, soil trace elements, *Hypericum perforatum*.

Вступ. Вагома величина лікарських препаратів включають в себе флавоноїди. Такі ліки широко застосовуються у фармації для лікування різноманітних хвороб і станів. Багато лікарських препаратів використовують флавоноїди, як основну діючу речовину. Їх вагомий лікувальний ефект зарекомендував себе у терапії для лікування серцево-судинних, шлунково-кишкових, нервових захворюваннях та низки інших симптомів і синдромів. Саме тому є велика перспектива дослідження впливу навколишнього середовища певних областей на концентрацію флавоноїдів у лікарській рослинній сировині, яка і використовується у виготовленні ліків. Самі флавоноїди це похідні фенольних сполук, вони є пігментами рослин. Найвідоміші у фітотерапії флавоноїди: рутин, гесперидин, гіперозид, кверцетин [2].

Актуальність. У дослідженні аналізується вміст мікроелементів ґрунту та їх вплив на концентрацію флавоноїду рутину у лікарських рослинах. Деякі мікроелементи можуть входити до складу ферментів, що є каталізаторами різноманітних біохімічних процесів у рослинах, вони можуть інгібувати, або активувати дані процеси, що у свою чергу може

призводити до погіршення врожайності, активації хвороб у рослин, а також зміни у хімічному складі біологічно-активних речовин, задіяних у фармації [3, с. 28-38].

Флавоноїди є тими біологічно активними речовинами рослини, які можуть залежати від концентрації мікроелементів ґрунту. Так, наприклад, у дослідженнях В. М. Мінарченко описується вплив Нікелю (Ni), Купруму (Cu) та Плюмбуму (Pb) на концентрацію флавоноїдів у *Potentilla erecta* Linneus, 1797. Так, вміст нікелю спостерігається у рослинах що містять флавоноїди, а досліджувана авторами *P. Erecta* має властивість до накопичення міді, що, у свою чергу впливає на продукцію фенольних сполук у рослин. Було зазначено, що велика кількість плюмбуму може позитивно вплинути на фотосинтез рослини, але, як зазначають автори, надмірна концентрація призводить до токсичного ефекту [5, с. 76-81].

У працях зарубіжних вчених Hassan A. та Zengin M. Описується загальний вплив мікроелементів ґрунту на флавони. У своїх працях автори зазначають, що надмірне внесення Бору (B), Кобальту (Co), Молібдену (Mo) призводить до змін у біологічному циклі рослини, що сприяє пригніченню продукції флавонів [6; 8, с. 34].

Метою нашого дослідження було проаналізувати вміст певної вибірки мікроелементів ґрунту та дослідити їх вплив на концентрацію флавоноїдів у звіробої звичайному (*Hypericum perforatum* Linneus, 1753), щоб зробити висновок стосовно залучення, або вилучення досліджуваних елементів при вирощуванні лікарської рослинної сировини.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження збиралися квітучі суцвіття звіробою разом із стеблами, після чого їх висушували у рекомендованих умовах, що описуються у державній фармакопеї. Суцвіття розкладалися на рівній, сухій поверхні, без прямого потрапляння сонячного світла і з достатньою вентиляцією приміщення, із дотриманням рекомендованої вологості приміщення. Висушування проводилося протягом місяця [4].

Кількісне зображення суми флавоноїдів у перерахунку на рутин проводилося за методикою державної фармакопеї. Висушену рослину, подрібнювали, так, щоб сировина проходила через сито 0.5 мм. Після чого, зважену до 1 г (із похибкою у 0,002 г) сировину поміщають у колбу 150 мл, додають 30 мл 50% етилового спирту, колбу нагрівають на водяній бані протягом 30 хвилин. Гарячий концентрат фільтрують у колбу 100 мл, так щоб екстрагована рослинна сировина не потрапляла на фільтр, після чого додають 30 мл 50% етилового спирту. Екстракцію проводять ще 2 разу, фільтруючи у ту ж мірну колбу (розчин А). Для проведення заміру використовувався спектрофотометр Ломо СФ-26. У колбу 25 мл додавали піпеткою 1 мл розчину А та 2 мл 2% алюмінію хлориду. Через 40 хвилин вимірювали оптичну щільність розчину при довжині 415 нм у кюветі товщиною 10мм. Масову частку суми флавоноїдів у відсотках та перерахунку на рутин визначали за формулою: $x = (D*m^0*100*100*100)/(D0*m*100(100-w))$ [1].

Досліджувані зразки ґрунту збиралися у той же час з під досліджуваної рослини. Загалом було залучено 3 зразки з 3 різних місць.

Зразок 1 – 3 проби ґрунту бралися у локації (Чернігівська область, Ніжинський район, околиці села Мала Кошилівка)

Зразок 2 – 3 проби ґрунту бралися у локації (Чернігівська область, Ніжинський район, з'їзд у сторону села Березанки)

Зразок 3 – 3 проби ґрунту бралися у локації (Чернігівська область, м. Ніжин, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, агростанція)

Досліджувані хімічні елементи ґрунту: Бор(B), Кобальт(Co), Купрум(Cu), Магній(Mg), Манган(Mn), Молібден(Mo).

Визначення вмісту елементів (B, Co, Cu, Mg, Mn, Mo) проводилося методом атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно-зв'язаною плазмою.

Результати дослідження та обговорення. Для наглядного прикладу залежності концентрації рутину від концентрацій мікроелементів ґрунту було створено наступні рисунки графіків:

Таблиця 1

Концентрація рутину у *Hypericum perforatum* L в залежності від досліджуваних мікроелементів ґрунту

	Концентрація рутину (1 зразок) %	Концентрація рутину (2 зразок) %	Концентрація рутину (3 зразок) %	Похибка
Досліджуваний елемент	7.407	7.790	11.621	0.005
Бор (B), мг/кг	1,22	0,99	0,83	0.01
Кобальт (Co), мг/кг	0,18	0,11	0,11	0.01
Купрум (Cu), мг/кг	1,98	1,73	1,5	0.01
Магній (Mg),мг/кг	1,14	1,04	0,64	0.01
Манган (Mn),мг/кг	13,05	19,74	21,03	0.01
Молібден (Mo), мг/кг	0,07	0,05	0,03	0.01

Як видно із рис. 1 у досліджуваної рослини бор інгібує продукцію рутину. Слід зауважити, що після значення 0.99 мг/кг і до кінцевого значення 0.83 мг/кг концентрація рутину значно збільшується, що дає підстави вважати, що бор не є бажаним мікроелементом у ґрунті для накопичення рослинами флавоноїдів.

Із рис. 2 видно, що кобальт, як і бор пригнічує накопичення флавоноїду рутину у сировині. Це може бути пов'язано в першу чергу з тим, що цей мікроелемент, в даних концентраціях може бути токсичним та впливати на продуктивні властивості рослин. Виходячи із цього є підстави вважати кобальт не бажаним мікроелементом для вирощування флавоноїдовмісних рослин.

Із рис. 3 видно, що купрум у даних концентраціях спричинив інгібування концентрації флавоноїду рутину у досліджуваній рослині. Слід зазначити, що у деяких флавоноїдовмісних рослинах купрум сприяє накопиченню флавоноїдів, але, можливо, для звіробою такі концентрації перевищують допустиму норму, що і спричинює такий ефект.

Молібден у великих концентраціях може бути токсичним для багатьох рослин. На рис. 4 ми бачимо, як навіть, незначні концентрації молібдену пригнічують продукцію рутину у рослині. Враховуючи дані, рекомендується уникати застосування добрив, які можуть використовувати цей мікроелемент під час вирощування звіробою.

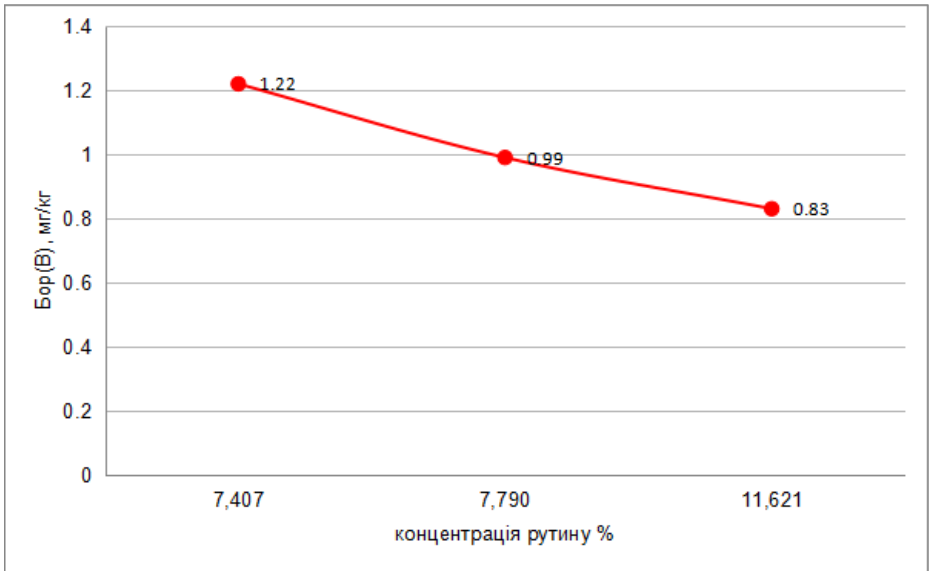


Рис. 1. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації бор

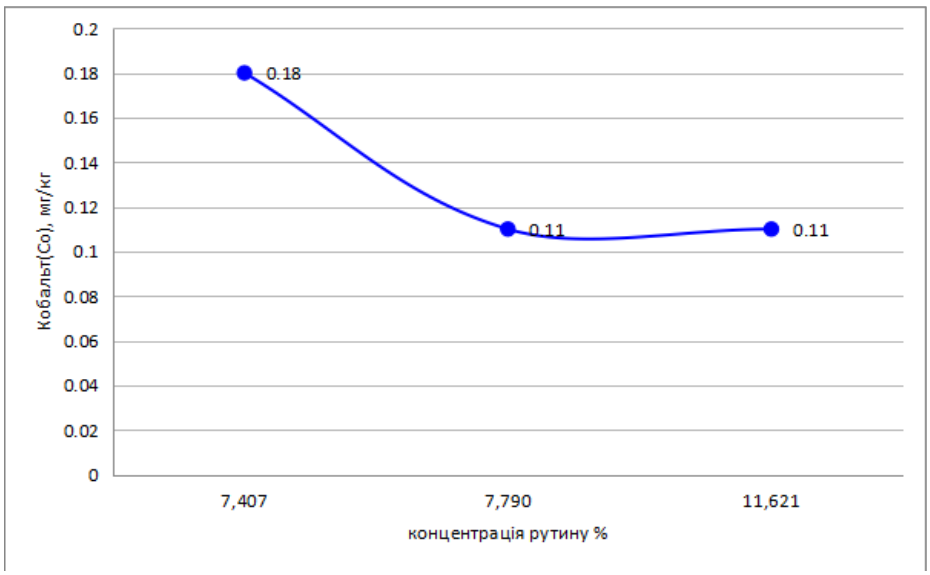


Рис. 2. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації кобальту

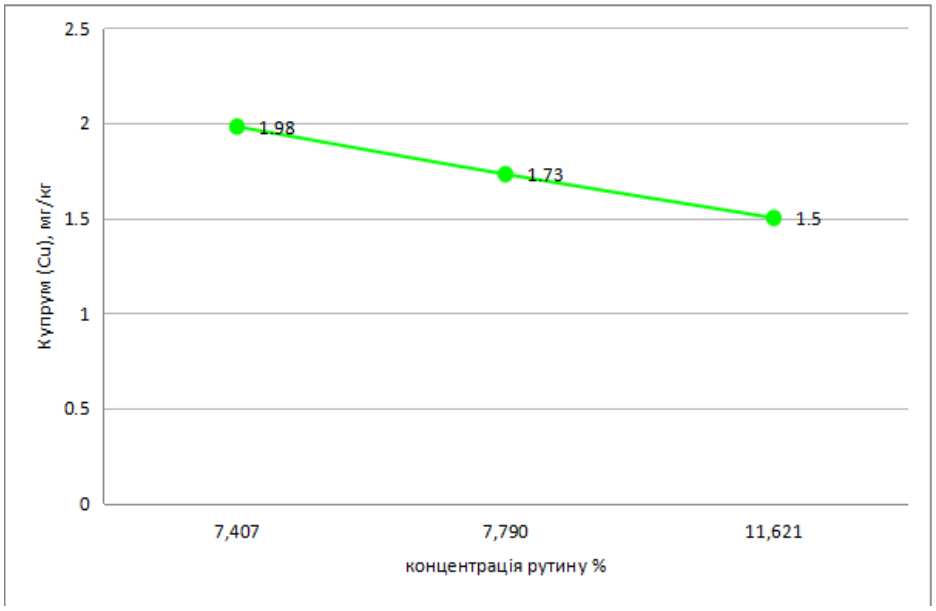


Рис. 3. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації купруму

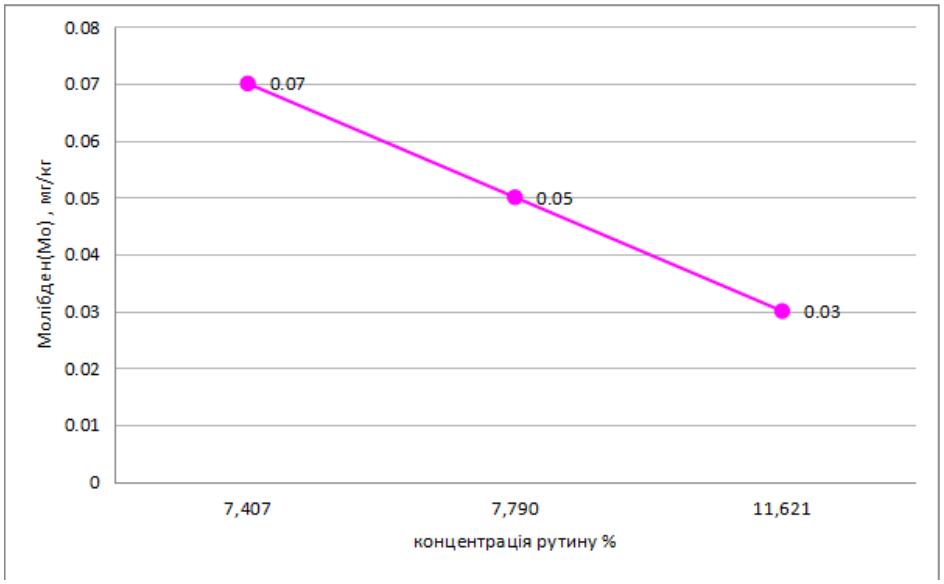


Рис. 4. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації молібдену

Як видно із рис. 5 манган активує продукцію рутину у досліджуваній рослині. Це можна пояснити тим, що манган покращує метаболічні процеси у рослин, а дані концентрації є достатніми, щоб не спричиняти токсичного ефекту, враховуючи це манган є рекомендованим мікроелементом для вирощування флавоноїдовмісних рослин.

Якщо звернути увагу на різницю між показниками концентрації рутину 7.790% та 11.621% можна побачити значне зменшення концентрації магнію с 1.04 до 0.64 мг/кг, що значно більше ніж попередній зразок. Магній впливає на ріст і врожайність рослин, але, як і в випадку із купрумом, магній у даних концентраціях не продукує, а навпаки – інгібує процес накопичення флавоноїдів рослиною. Втім, слід зазначити, що магній є дуже корисним. Він бере участь у фотосинтезі хлорофілу, зв'язуванні ензимів, енергетичному обміні рослини. А тому є доречним рекомендувати цей мікроелемент лише у випадку дозволених норм.

Висновок. Отримані дані дають змогу проаналізувати можливий вплив деяких мікроелементів в ґрунті на концентрацію флавоноїдів у звіробої звичайному (*Hypericum perforatum* L.). Кожен показник, так чи інакше, впливає на концентрацію рутину, викликаючи активацію, або інгібування продукції

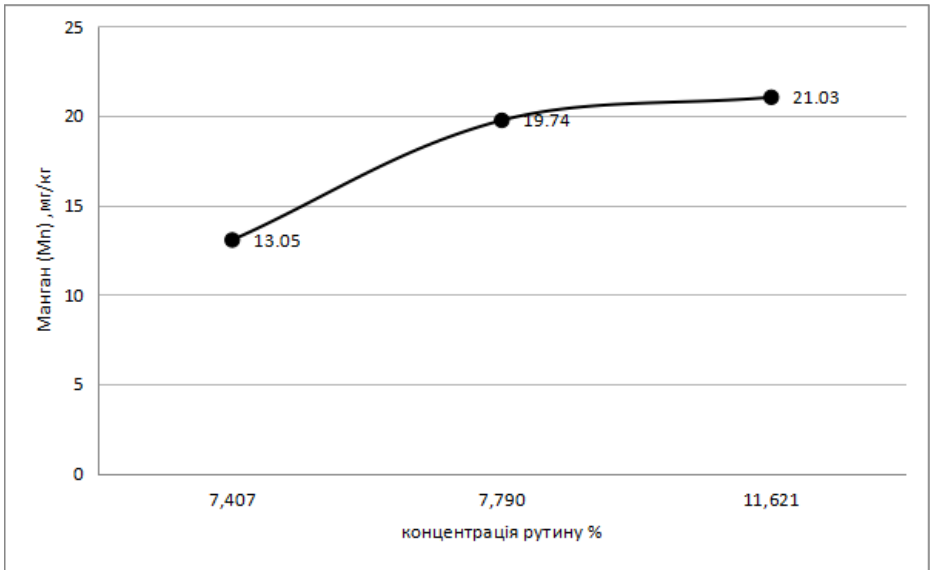


Рис. 5. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації мангану

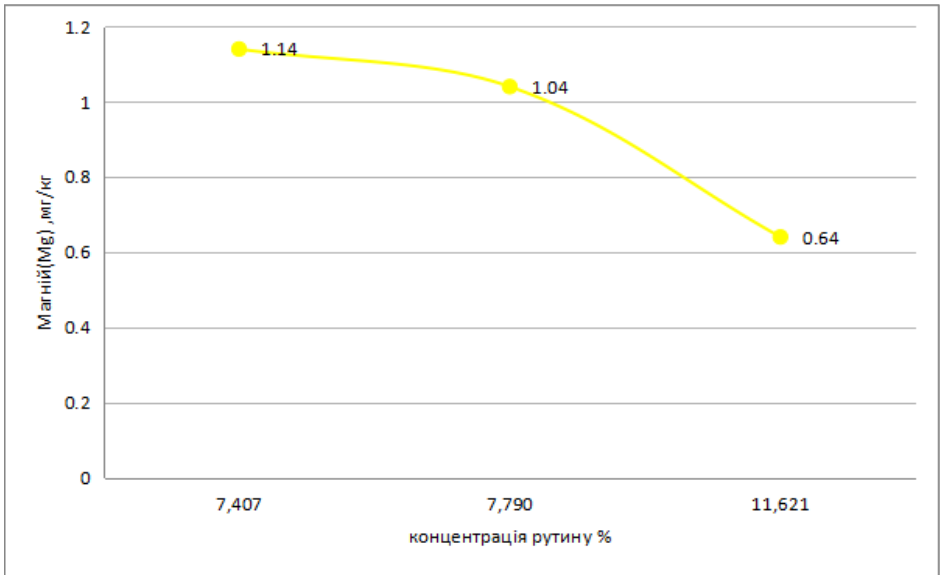


Рис. 6. Динаміка концентрації рутину в залежності від концентрації магнію

даного флавоноїду у лікарській рослинній сировині. Щоб детальніше проаналізувати вплив мікроелементів, у перспективі, є необхідність залучити інші флавоноїдовмісні рослини, а тому важливим є продовження дослідження із залученням більшої кількості досліджуваних рослин для створення кореляційних таблиць.

Втім, показники мікроелементів (бор, кобальт, купрум, магній, манган, молібден) показують прямий вплив на концентрацію флавоноїду рутину. Так, бор, кобальт, купрум, молібден та магній пригнічують продукцію флавоноїду рутину у досліджуваній рослині, що дає підстави не рекомендувати залучення добрив з даним мікроелементом під час її вирощування. Але, слід зазначити, що купрум і магній, у деяких рослинах сприяє накопиченню флавоноїдів, а тому, при нормалізованих дозах є бажаними для вирощування флавоноїдовмісних рослин. Дослідження впливу концентрації мангану на концентрацію рутину навпаки показало підвищення продукції флавоноїдів у звіробої звичайному, що дає підстави напряму рекомендувати використання речовин з даним мікроелементом із чого можна зробити висновок про пріоритет внесення цього елементу для отримання кращих результатів у майбутньому.

Література

1. Державна Фармакопея України. Загальні методи аналізу. Лікарська рослинна сировина. 2-ге видання. Харків: Держ. підпр. “Науково-експертний фармакопейний центр”, 2008. 620 с.
2. Мамчур Ф. І. Довідник з фітотерапії. 2-ге видання. Київ: Здоров’я, 1986. 277 с.
3. 3.Середа П. І. Максютіна М. П., Давтян Л. Л. Фармакогнозія: лікарська рослинна сировина та її фітозасоби. Вінниця: Нова Книга, 2006. с. 28–38.
4. Носаль М. А. Носаль І. М. Лікарські рослини і способи їх застосування у народі. За редакцією В. Г. Дроботька. Київ: Здоров’я, 1964. 298 с.
5. В. М. Мінарченко, В. Г. Каплуненко, Н. П. Ковальська Мінеральний склад кореневищ перстача прямостоячого (Potentilla erecta L.), Фармацевтичний журнал № 1. 2017. с. 76–81.
6. Zengin M., Ozcan M. M., Cetin Ü., Gezgin S. Mineral contents of some aromatic plants, their growth soils and infusions, J. Science of Food and Agriculture. 2008. V. 88. P. 581–589.
7. Anal J. M. H., Chase P. Trace elements analysis in some medicinal plants using graphite furnace-atomic absorption spectroscopy. Environ. Eng. Res. 2016. P. 24.
8. Hassan A. Effects of mineral mutrients on physiological and biochemical processes related to secondary metabolites production in medicinal herbs. Medicinal and aromatic plant science and biotechnology 6 (Special Issue 1), 2012. P. 105–110.

ЗМІНА КЛІМАТУ

УДК 553.3/9 (477.82)
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.31

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМФОРТНОСТІ ПОГОДИ ПРОТЯГОМ КУРОРТНОГО СЕЗОНУ В НАЦІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНИХ ПАРКАХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Федонюк В.В., Іванців В.В., Жадько О.А., Федонюк М.А.
Луцький національний технічний університет
вул. Львівська, 75, 43018, м. Луцьк
ecolutsk@gmail.com, v.ivantsiv71@gmail.com, zhadkooa@gmail.com, m.fedoniuk@lntu.edu.ua

У дослідженні проаналізовано і порівняно кліматичні особливості території трьох національних парків Волинської області: Шацького НПП, НПП «Прип'ять-Стохід», Ківерцівського НПП «Цуманська пуща» та здійснено оцінку комфортності кліматичних умов у період 2010–2020 рр. для організації відпочинку, туристичної діяльності і санаторно-курортного лікування. Актуальність роботи обумовлена потребою аналізу екологічної і туристичної привабливості Волині, а також визначенням території трьох діючих національних парків як курортно-перспективної зони, що дасть змогу збільшити потенційні можливості для туризму, кількість робочих місць, поліпшити інфраструктуру регіону, підвищити загальні показники рівня життя населення. Наукова новизна роботи визначається тим, що порівняльних досліджень комфортності клімату волинських парків раніше не проводилося. Використані архівні матеріали Волинського центру з гідрометеорології за 2010–2020 рр, застосовані такі методи наукового дослідження: збір та статистична обробка інформації метеорологічних архівів, спостереження, проведення досліджень, порівняльний метод, метод синтезу, метод статистичного, графічного та картографічного аналізу. Проаналізовано хід показників температури, вологості, хмарності неба, опадів, вітрового режиму за вказаний період, здійснено статистичну обробку та графічний аналіз результатів; проведено порівняльний аналіз показників комфортності кліматичних та погодних умов в межах Шацького НПП, НПП «Прип'ять-Стохід», Ківерцівського НПП «Цуманська пуща». Обґрунтовано високу комфортність мікрокліматичних умов національних парків Волині для рекреаційної діяльності, визначено, що найбільш комфортними є кліматичні показники курортного сезону на території Шацького НПП (тривалість періоду комфортної погоди – 56 днів). Отримано підтвердження специфіки мікроклімату озера Світязь та прилеглої території. показники його комфортності найвищі. Практичне значення роботи: висновки, зроблені авторами, дозволяють забезпечити наукове обґрунтування подання Шацької територіальної громади щодо визнання території, прилеглої до озера Світязь, курортною зоною. *Ключові слова:* комфортність погоди, курортний сезон, національний природний парк, Шацький національний природний парк, Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуща», Національний природний парк «Прип'ять-Стохід».

Comparative analysis of weather comfort during the holiday season in the national natural parks of the Volyn region. Fedoniuk V., Ivantsiv V., Zhadco O., Fedoniuk M.

Purpose. The study analyzed and compared the climatic features of the territory of three national parks of the Volyn region: Shatsky NNP, Pripyat-Stokhid NNP, Kivertsiiv NNP «Tsumanska Pushcha» and assessed the comfort of climatic conditions in the period 2010–2020 for the organization of recreation, tourism activities and sanatorium-resort treatment. The relevance of the work is due to the need to analyze the ecological and touristic attractiveness of Volyn, as well as to define the territory of three active national parks as a promising resort zone, which will increase the potential opportunities for tourism, the number of jobs, improve the infrastructure of the region, and raise the general indicators of the population's standard of living. Methodology. Archival materials of the Volyn Hydrometeorology Center for 2010–2020 were used, the following methods of scientific research were applied: collection and statistical processing of information from meteorological archives, observation, research, comparative method, synthesis method, method of statistical, graphical and cartographic analysis. Results. The course of indicators of temperature, humidity, cloudiness of the sky, precipitation, wind regime for the specified period was analyzed, statistical processing and graphical analysis of the results was carried out; a comparative analysis of indicators of comfort of climatic and weather conditions within Shatsky NNP, Pripyat-Stokhid NNP, Kivertsiiv NNP «Tsumanska Pushcha» was carried out. The high comfortability of the microclimatic conditions of the national parks of Volyn for recreational activities has been substantiated, and it has been determined that the climatic indicators of the holiday season on the territory of the Shatsky NNP are the most comfortable (the duration of the period of comfortable weather is 56 days). Confirmation of the specificity of the microclimate of Lake Svityaz and the surrounding area was obtained. its comfort indicators are the highest. Originality. The scientific novelty of the work is determined by the fact that comparative studies of the climate comfort of Volyn parks have not been conducted before. Practical value. The practical significance of the work: the conclusions made by the authors allow to provide a scientific basis for the submission of the Shatsk Territorial Community regarding the recognition of the territory adjacent to Lake Svityaz as a resort area. *Key words:* comfortable weather, holiday season, national nature park, Shatskyi National Nature Park, Kivertsi National Nature Park «Tsumanska Pushcha», National Nature Park «Prypyat-Stokhid».

Постановка проблеми. Розвиток туристичної та рекреаційної галузі – це вагома складова зростання економічного потенціалу України. Туризм та рекреація дозволяють збільшувати кількість робочих місць та надходжень до місцевих бюджетів. Волинська область – це привабливий у рекреаційному відношенні регіон. Про Шацький національний природний парк (далі – НПП) та озеро Світязь знають далеко за межами України. Але в останні десятиріччя активно розвивається інфраструктура та рекреаційний комплекс ще двох парків: НПП «Прип'ять-Стохід» та Ківерцівського НПП «Цуманська пуща». Для забезпечення рекреаційної діяльності в національних парках регіону важливим завданням є порівняльна оцінка комфортності їх погодних умов, адже природно-кліматичний рекреаційний потенціал відіграє вагому роль в організації такої діяльності. Тому в даному дослідженні вперше проведено порівняльний аналіз особливостей природно-кліматичного рекреаційного потенціалу для трьох діючих національних парків Волинської області.

Актуальність дослідження. Актуальність дослідження пов'язана із зростанням перспектив використання природно-рекреаційного потенціалу Північно-Західного регіону України, в тому числі – потенціалу природоохоронних територій Волинської області, в умовах повномасштабної агресії російської федерації проти України та тимчасової втрати можливостей використання значної частини природно-рекреаційних ресурсів Півдня та Сходу нашої держави. Актуальність роботи також визначається важливістю вивчення регіональних проявів кліматичних змін в межах України.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та науково-практичними завданнями. Вивчення регіональних проявів глобальних змін клімату, їх впливу на природно-ландшафтні комплекси і на комфортність погодних умов для забезпечення їх рекреаційного використання та розробка рекомендацій щодо оптимізації такого використання – це одне з важливих науково-практичних завдань нашого часу. Дане дослідження було виконано у взаємодії та співпраці з природоохоронними установами Волинської області, комфортність погодних умов яких аналізувалася, автори дослідження є членами Науково-технічних рад ряду національних природних парків регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Природні умови та ресурси заповідних територій Волинської області вивчалися у роботах Чемериса М.П., Мольчака Я.О., Зузука Ф.В., Андрієнко Т.Л., Нетробчук І.М., Карпюк З.К., Фесюка В.О., Пугача С.О., Химина М.В., Слащука А.М., Тарасюк Н.А., Тарасюка Ф.П., Федонюк В.В. та інших дослідників [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Кліматичні умови та ресурси Волинської області в цілому, а також особливості характеристик клімату окремих природно-заповідних територій Волині вивчалися у працях таких вчених, як Тарасюк Н.А., Тарасюк Ф.П., Ничая О.О., Мольчак Я.О., Федонюк В.В., Мирка В.В., Федонюк М.А., Іванців В.В. та інші [2, 4, 5, 8, 9, 10, 11]. Але порівняльний аналіз мікроклімату в різних парках не проводився. Також відсутні дослідження кліматичних особливостей Ківерцівського НПП «Цуманська пуща», оскільки цей парк – новостворений, діяльність організовано в 2010 р., а функціонування – ще пізніше, у 2015 р.

Водночас, як відмічають при проведенні своїх досліджень Шмандій В.М., Колєснік Д.В., Ригас Т.Є., Харламова О.В. [12], для оцінки стану біорізноманіття, загальної стійкості екосистем природно-заповідних територій неможливо в наш час не зупинятися на питаннях змін клімату та його пролонгованих наслідків. Для національних природних парків України вивчення мікрокліматичних особливостей в умовах стійких змін клімату поки-що є поодинокими [7, 9, 13], хоча в світі масштабно проводяться такі дослідження: відомими є роботи у цій галузі J.S. Baron, L. Gunderson, C. Allen, E. Fleishman, E.D. McKenzie, L.A. Meyerson, N. Stephenson та інших [14].

Поняття комфортності клімату, біоклімату, визначення основних характеристик клімату курортних зон та місцевостей – це питання, які широко висвітлювалися у науковій вітчизняній та зарубіжній літературі, зокрема, у працях І.І. Нікберга, Е.Л. Ревуцького, Л.І. Сакалі, І.І. Григор'єва, Г.П. Федорова, В.Ф. Овчарової, які були детально проаналізовані та узагальнені авторами у [15]. Класифікації погодних умов за їх впливом на людину проводилися у працях В.І. Фоменка, В.Г. Бокші, О.Л. Іванющенко, Г.П. Федорова, Н.П. Ващенко, Ю.А. Ажіцького, Б.В. Богунського, О.М. Данилова, С.М. Чубинського та інших авторів [15, 16, 17, 18].

Виділення не виділених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Кліматичні умови Північно-Західного регіону мають ряд факторів, сприятливих з точки зору рекреації: м'який помірний клімат, комфортні показники атмосферного тиску, температури, швидкості вітру та інших метеорологічних величин. Як зазначено вище, науковцями проводилися дослідження сучасних тенденцій та змін окремих кліматичних показників у регіоні, проте вони не мали медико-курортологічного спрямування. Метою даної роботи є саме виділення особливостей комфортності погоди для забезпечення рекреаційної діяльності в НПП регіону, порівняння парків між собою за їх кліматично-рекреаційним потенціалом, що є частиною загальної проблеми вивчення регіональних кліматичних змін.

Новизна. Оскільки медико-курортологічних досліджень для НПП Волинської області фактично не проводилося, то порівняльний аналіз комфортності клімату протягом курортного сезону року для трьох НПП регіону здійснений авторами, відзначається науковою новизною.

Методологічне або загальнонаукове значення. Аналіз було здійснено на основі математично-статистичної і графічної оцінки архівної метеорологічної інформації, польових натурних обстежень та опису їх результатів. Це визначає його методологічне та наукове значення для визначення рекреаційної сприятливості мікроклімату та комфортності погоди окремої території. Запропоновані авторами методи аналізу, підходи до оцінки показників комфортності погоди природоохоронних територій, розроблені рекомендації матимуть значення при проведенні аналогічних досліджень в межах інших заповідних об'єктах України.

Виклад основного матеріалу. Біоклімат – це сукупність кліматичних характеристик і показників, які визначають вплив погодних умов на організм людини. Біокліматичні параметри, на відміну від стандартних метеопоказників, зазвичай характеризують комплексний вплив кліматичних факторів (руху повітряних мас, температури, вологості повітря, швидкості вітру, атмосферного тиску тощо) на організм [16, 18]. Тому поняття комфортності клімату і її оцінка як одного з чинників біоклімату, є надзвичайно актуальним для тих зон, де проходить відпочинок, оздоровлення, лікування. Неможливе лікування в районі, де хвороби можуть загостритися через несприятливу погоду.

Клімат є одним з провідних ресурсів, що зумовлює просторову організацію відпочинку. Сприятлива дія клімату на здоров'я людини важлива для організації всіх видів рекреації, тому важливо визначити, поряд з біокліматичними показниками, класифікацію сприятливих типів погод та періодів для організації різних видів відпочинку. Найбільший вплив клімату виявляється через реакцію людини на погоду, тобто на комплекс геофізичних (освітленість, тривалість світлової частини доби, сумарна сонячна та ультрафіолетова радіація, прозорість повітря) і метеорологічних елементів (температура повітря, його вологість, швидкість вітру, хмарність і т.п.) [16, 17]. Класифікації погод за рекреаційною придатністю присвячено досить багато праць, де використано різні підходи та чинники впливу [15, 16, 17, 18].

На основі узагальнення даних таких класифікацій авторами визначено показники сприятливих кліматичних умов для рекреаційних цілей (комфортна погода), основні параметри яких ми представили в таблиці 1.

Для рекреаційної оцінки клімату важлива повторюваність сприятливих або, навпаки, несприятливих метеорологічних параметрів по роках. Наприклад, частота повторюваності днів з різкими зниженнями температури води і повітря в розпал рекреаційного сезону, днів з високими для людини температурами повітря (понад 30^0C), штормових днів з сильним вітром [15].

Тому у роботі досліджувався основний інтегральний показник комфортності погодних умов території – це сумарна кількість комфортних днів протягом курортного сезону року (червень-серпень) та щорічна місячна кількість комфортних днів.

Методика визначення комфортного дня: досліджувалися середні добові показники метеорологічних характеристик у парках – температури, вологості, хмарності, вітру, опадів. Вони порівнювалися з показниками комфортних значень цих характеристик. (табл. 1). День рахувався комфортним, якщо з 8 метеорологічних характеристик не менше 7 відповідали оптимальним показникам. Для прикладу, середня добова вологість повітря повинна бути меншою 60 % (але мінімальна вологість при цьому не нижче 30 %). День вважався комфортним, якщо опадів не було, а середня добова хмарність була нижчою 50 %. Мінімальна та максимальна тем-

Таблиця 1

Параметри оптимальних погодних умов для рекреаційних цілей (комфортна погода) під час літнього періоду року

Показники	Оптимальне значення
Середньодобова температура повітря, °С	
при V = 0–1 м/сек.	+15 – +20
при V = 2–3 м/сек.	+15 – +23
при V = 4–5 м/сек.	+20 – +26
Швидкість вітру, м/сек.	До 3
Відносна вологість, %	50–60
Мінімальна вологість, %	Не менше 30
Хмарність неба, бали	До 5
Тривалість сонячного сяяння, год/доба	7–12
Мінімальна температура, не менше, °С	+10
Максимальна температура, не більше, °С	+30
Опади	Відсутні
Атмосферний тиск, гПа	Міждобова зміна не більше 3 гПа

пература не повинні були відрізнятися від середньої добової суттєво (перепад температури на 8-10^{0}С – це вже стресовий показник для людини).

З врахуванням того, що території Шацького НПП, НПП «Прип'ять – Стохід» та Ківерцівського НПП «Цуманська Пуща» знаходяться в межах однієї кліматичної зони, для встановлення придатності цих територій для відпочинку та рекреації розраховано кількість комфортних днів по трьох літніх місяцях (червень, липень, серпень) і їх суму за весь курортний сезон за такими метеорологічними показниками: 1) середня добова температура повітря, °С; 2) мінімальна добова температура повітря, °С; 3) максимальна добова температура повітря, °С; 4) середня добова хмарність неба, %; 5) середня добова відносна вологість повітря, %; 6) мінімальна вологість повітря за добу, %; 7) середня добова швидкість вітру, м/с; 8) наявність опадів.

Розрахунок добової комфортності погоди проводився окремо по кожній із вище вказаних територій за даними метеорологічних станцій: 1) Шацький НПП (метеостанція Світязь); 2) НПП «Прип'ять – Стохід» (метеостанція Любешів); 3) Ківерцівський НПП «Цуманська Пуща» (метеостанція Луцьк).

Показники аналізувалися за період із 2010 р. по 2020 рр. Розрахунок здійснювався за теплий період року, або курортний сезон (із червня по серпень включно). Вихідні метеодані для розрахунку бралися у архіві Волинського обласного центру з гідрометеорології [19]. На основі статистичної обробки первинних метеорологічних показників та визначення кількості днів, комфортних для відпочинку, розроблено таблиці, побудовано графіки і діаграми, які відображають динаміку числа комфортних днів у національних парках Волині. Проаналізуємо отримані результати.

У табл. 2 наведено показники сумарної тривалості періоду, комфортного для відпочинку, в національних парках, а на рис. 1 – порівняльну діаграму середньої тривалості комфортного періоду. Як показує аналіз, Шацький НПП суттєво вирізняється серед двох інших парків за цими показниками. Якщо на ст. Луцьк середнє число комфортних днів протягом курортного сезону – 49, на ст. Любешів – 45, то на ст. Світязь їх 56.

Рис. 1. Порівняльна діаграма тривалості комфортного періоду у національних парках Волині (середнє значення за курортний сезон).

При аналізі показників за окремі місяці також виявлено вищу комфортність погоди на ст. Світязь. Особливо велика різниця в кількості комфортних днів спостерігається в червні та липні. (діаграми на рис. 2, 3).

В середньому, сумарна тривалість комфортного періоду на ст. Світязь на 10 днів перевищує аналогічний показник для ст. Луцьк та ст. Любешів.

Відмітимо, що при порівнянні між собою ст. Луцьк і ст. Любешів, вищою комфортністю погоди влітку характеризується ст. Луцьк. Ці відмінності, очевидно, пояснюються її південнішим географічним розташуванням. Водночас, ст. Світязь та Любешів розташовані практично на одній широті, проте показники комфортності погоди мають суттєво відмінні.

Відмічено, що навіть просте співставлення місячного ряду t^0 показує вищі показники комфортності мікроклімату ст. Світязь. Для прикладу побудовано два графіки місячного ходу середньої добової температури повітря на трьох станціях, за червень 2017 та 2018 р. (рис. 3 та рис. 4). Червона лінія (ст. Світязь) – майже завжди зміщена до вищих температур.

Варто зазначити, що за досліджуваний період виявлено суттєві відмінності у ході мікрокліматичних показників в порівнянні з тими даними, які наво-

Таблиця 2

Тривалість комфортного періоду у національних парках Волині за 2010–2020 рр., в днях

Період 2010-2020 рр.	Шацький НПП (Ст. Світязь)			
	Червень	Липень	Серпень	Сумарна тривалість комфортного періоду, дні
Середнє значення	14	20	22	56
	Ківерцівський НПП «Цуманська Пуща (Ст. Луцьк)			
Середнє значення	11	19	19	49
	НПП «Прип'ять-Стохід (Ст. Любешів)			
Середнє значення	11	18	16	45

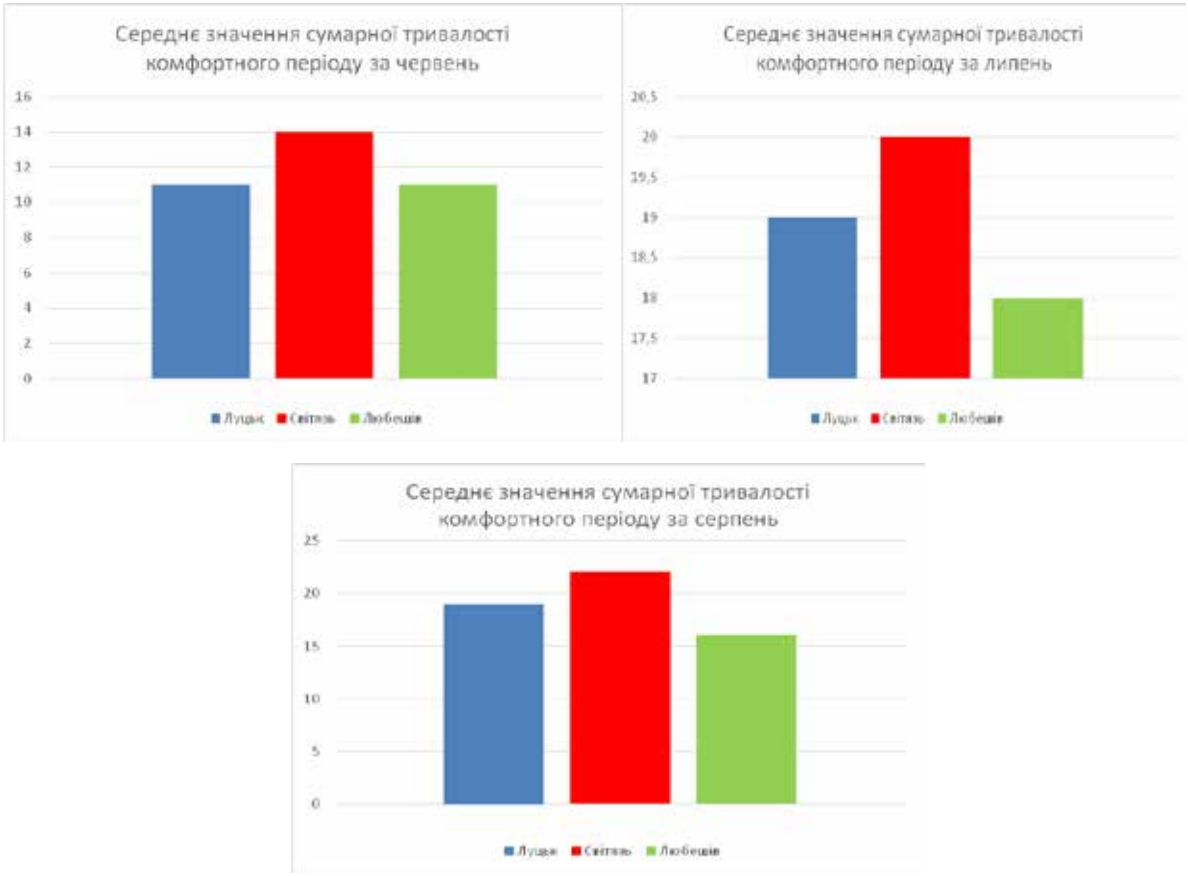


Рис. 2. Порівняльні діаграми середньої тривалості комфортного періоду у національних парках Волині у окремі місяці (тривалість – в днях)

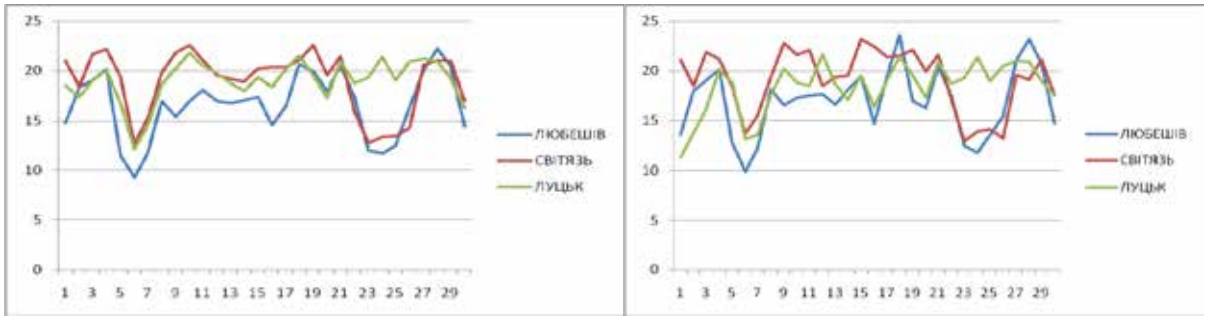


Рис. 3. Порівняльні графіки середньої добової температури повітря у національних парках Волині (червень 2018 р. та червень 2017 р.).

дяться як кліматична норма. Спостерігаються вищі значення температур на 1,5–2,8^{0}С. Очевидно, це прояви глобальних змін клімату.

Головні висновки. 1) На основі аналізу архівних даних метеорологічних спостережень за курортний сезон (літні місяці) протягом 2010–2020 рр. здійснена оцінка комфортності погоди. Число комфортних днів розраховувалося на основі аналізу середніх добових значень температури повітря, хмарності, наявності опадів, відносної вологості повітря, швидкості вітру, мінімальної та максимальної температури. 2) Результати аналізу свідчать про те, що найсприятливіші кліматичні особливості теплого сезону року характерні для Шацького НПП (56 комфортних днів за курортний сезон, показник змінювався від 46 до 72 дні). На другому місці Ківерцівський НПП «Цуманська пуща» (49 комфортних днів, показник змінювався від 43 до 54 дні), а на третьому – НПП «Прип'ять-Стохід» (45 комфортних днів, зміни від 34 до 53 днів). 3) Озеро Світязь та Шацький НПП справді має унікальний мікроклімат, що підтверджується аналізом побудованих графіків, діаграм, таблиць. Це дозволить провести комплексне екологічне обґрунтування сприятливості умов парку для

розвитку зеленого, сільського туризму, а також класичних видів рекреації – пляжного, санаторно-курортного відпочинку, у поєднанні з виконанням завдань природоохоронного та ресурсозберігаючого змісту, та обґрунтувати статус кліматичного курорту. 4) Усі три національні парки мають сприятливий кліматично-рекреаційний потенціал. Створення нових популярних осередків туризму у Ківерцівському НПП «Цуманська пуща» та НПП «Прип'ять-Стохід» дозволить розвантажити територію Шацького НПП, яка зазнає надмірного рекреаційного навантаження.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати здійсненого дослідження можуть бути використані державними органами при розробці планів та програм рекреаційного розвитку регіону, для обґрунтування подання щодо присвоєння статусу кліматичного курорту зоні, прилеглій до озера Світязь, а також для подальшого вивчення регіональних проявів кліматичних змін в регіоні дослідження і впливу таких змін на природоохоронні території, їх ландшафтні комплекси та біоценози.

Література

1. Чемерис М.П. Особливості просторово-часового розподілу температури, вологості та опадів на території Волині. *Україна та глобальні процеси: географічний вимір*. Київ – Луцьк: 2000. Т. 2. С. 125–138.
2. Мольчак Я.О., Ковальчук В.В. Моніторинг динаміки мікрокліматичних показників озера Світязь та прилеглої території на основі застосування ГІС-технологій. *Географічні інформаційні системи в аграрних університетах (GISAV).* Матеріали 2-ої Міжнародної науково-методичної конференції. Херсон, 2007. С. 72–83.
3. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: кол.моногр. / В.О. Фесюк, С.О. Пугач, А.М. Слащук [та ін.]; за ред. В.О. Фесюка. К. : ТОВ «Підприємство «Ві Ен Ей»: 2016. 316 с.
4. Тарасюк Н. А., Тарасюк Ф.П. Регіональні прояви глобального потепління (за даними спостережень по метеостанції Луцьк). *Географія та екологія: наука і освіта* : матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф. (з міжнар. участю), м. Умань, 10–11 квіт. 2014 р. / відп. ред. О. В. Браславська. Умань : ВПЦ «Візавві», 2014. С. 330–333.
5. Тарасюк Ф. П., Тарасюк Н.А. Режим зволоження і хмарності північного сходу Волинського Полісся. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : наук. зб. – Луцьк : Вежа, 2010. № 5. С. 39–46.
6. Нетробчук І.М. Рекреаційні властивості клімату і рельєфу Шацького національного природного парку. *Науковий вісник Чернівецького університету*. Випуск 803. Географія. 2018. С. 117–122.
7. Федонюк В.В., Михалік А.О. Оцінка комфортності клімату Шацького національного природного парку для організації туристично-рекреаційної діяльності. *Екологічні проблеми Волині.* Матеріали Круглого столу (23-24 березня 2018 року). Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2018. С. 33–36.
8. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К. : Вид-во Раєвського, 2003. 245 с.
9. Тарасюк Ф. П. Температурний режим повітря національного парку «Прип'ять–Стохід» у контексті глобального потепління. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій :* зб. наук. пр. / за заг. ред. Ф. В. Зузука. – Луцьк : СНУ ім. Лесі Українки, 2014. № 11. С. 109–114.
10. Мирка В.В., Федонюк В.В., Іванців В.В., Федонюк М.А. Порівняння динаміки мікрокліматичних показників на території Черемського природного заповідника у XX та XXI ст. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К. : Видавничий дім «Гельветика», 2022. № 7(40). С. 120–125. UPL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2022/1/22.pdf
11. Ничая О.О., Тарасюк Н.А. Кліматична складова частина формування рекреаційного ландшафту Шацького національного природного парку. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : зб. наук. пр. / за заг. ред Ф. В. Зузука. Луцьк : СНУ ім. Лесі Українки, 2014. № 11. С. 95–101.
12. Колєснік Д.В., В. М. Шмандій В.М., Т. Є. Ригас Т.Є., Харламова О.В. Оцінка стану екологічної безпеки акваторії Кременчуцького водосховища задля збереження ландшафтно-біологічного різноманіття в умовах змін клімату. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2021. Випуск 3(128). С. 24–29. DOI: 10.30929/1995-0519.2021.3.24-29
13. Удра І.Х., Батова Н.І. Місце національного природного парку «Синевир» в Українських Карпатах за біокліматичними параметрами. *Науковий вісник Ужгородського університету* : Серія: Біологія / гол. ред. В.І. Ніколайчук. Ужгород: Видав. УжНУ «Говерла», 2011. Вип. 30. С. 104–109.
14. Baron, J. S., Gunderson, L., Allen, C.D., Fleishman, E.,McKenzie, D., … & Stephenson, N. (2009). Options for national parks and reserves for adapting to climate change. *Environmental management*. № 44. 2009. pp. 1033–1042.
15. Федонюк В.В., Федонюк М.А. Дослідження сезонної динаміки атмосферного тиску в м. Луцьку. *Фізична географія та геоморфологія*. К.: 2016. – Вип. 4 (84). С. 82–89.
16. Бокша В.Г., Іванющенко О.Л. Медична кліматологія. К. : Медицина, 2010. 322 с.
17. Ващенко Н. П. Рекреаційні комплекси. К.: КНТЕУ, 2000. 262 с.
18. Фоменко Н.В. Рекреаційні ресурси та курортологія. Навчальний посібник. К.: Центр навчальної літератури, 2009. 312 с.
19. Архів погоди Волинського обласного центру з гідрометеорології UPL: http://www.meteolutsk.net.ua/ (дата звернення 04.01.2022).

УДК 551.583
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.32

ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ КЛІМАТУ ПРОТЯГОМ XX-ГО СТОЛІТТЯ НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОГЕННО НЕНАВАНТАЖЕНОЇ ТЕРИТОРІЇ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Яковишина Т.Ф.
Придніпровська державна академія будівництва та архітектури
вул. Архітектора Олега Петрова, 24а, 49000, м. Дніпро
t_yakovyshyna@ukr.net

Глобальні та регіональні проблеми клімату виступають провідним фактором, який визначає функціонування екосистем, впливає на напрямок господарської діяльності людини, в тому числі на види і типи природокористування. Оцінювання змін клімату має велике значення щодо забезпечення екологічної безпеки населення за умов стійкого розвитку регіонів, вибору найефективнішого типу природокористування з урахуванням особливостей конкретних екосистем. При аналізі регіональних проявів змін клімату для техногенно навантажених територій, доцільно розрізняти антропогенну складову, пов'язану з викидами тих же парникових газів в межах міста, від природної складової, зумовленої глобальними кліматичними змінами. Тому дослідження спрямоване на встановлення тенденції зміни кліматичних показників техногенно ненавантаженої території, як точки відліку для оцінки впливу господарської діяльності людини на зміну клімату промислових агломерацій. Для оцінювання зміни клімату техногенно ненавантаженої території Дніпропетровської області були взяті 100-річні виборки даних температури, кількості опадів та вологість повітря з метеорологічної станції Комісарівка Кам'янського району. Проведено статистичний аналіз кліматичних показників, кореляційних залежностей між ними не виявлено. Встановлено тенденцію зміни клімату техногенно неневантаженої території Дніпропетровської області за допомогою показників (I_m, SPI та b), що позначалось через переважання збільшення кількості опадів над підвищенням температури та свідчило про більшу вологість клімату наприкінці XX-го століття порівняно з початком. Ґрунтовно доведено ефективність використання I_m та b для оцінювання змін клімату з врахуванням закону взаємодії екологічних факторів, а саме кількості опадів і температури, порівняно з стандартизованим індексом опадів. *Ключові слова:* клімат, температура атмосферного повітря, атмосферні опади, вологість повітря, екосистема, екологічна безпека.

Climate change assessment during the 20th century using the example of technogenically unloaded territory of the Dnipropetrovsk region. Yakovyshyna T.
Global and regional climate problems are the leading factor for ecosystems functioning, direction of human economic activity, including the types nature use. Assessment of climate changes is of great importance for ensuring the ecological safety of the population under the conditions of regions sustainable development, choosing the most effective type of nature management, taking into account the specific ecosystems characteristics. When analyzing regional manifestations of climate change for technogenic territories, it is advisable to distinguish the anthropogenic component associated with emissions of the same greenhouse gases within the city from the natural component caused by global climate changes. Therefore, the research is aimed at establishing the trend of climatic indicators changes for the technogenically unloaded territory as a reference point for assessing the impact of human economic activity to the climate change of industrial agglomerations. For assess climate change in the technogenic unburdened territory of Dnipropetrovsk region, 100-year samples of temperature, precipitation, and air humidity were taken from the Komisarivka meteorological station of Kam'yanske district. A statistical analysis has been carried out for climatic indicators; no correlations have been found between them. The climate change trend of the anthropogenically unburdened territory of the Dnipropetrovsk region has been established using indicators (Im, SPI and b), which has been characterized by the predominance of an increase in the amount of precipitation over an increase in temperature and indicated a greater humidity of the climate at the end of the 20th century compared to the beginning. The effectiveness of using Im and b has been thoroughly proven for the assessment of climate changes, taking into account the law of environmental factors interaction, namely the amount of precipitation and temperature, compared to the standardized precipitation index. *Key words:* climate, air temperature, precipitation, air humidity, ecosystem, environmental safety.

Постановка проблеми. Глобальні та регіональні проблеми клімату виступають провідним фактором, який визначає функціонування екосистем, впливає на напрямок господарської діяльності людини, в тому числі на види і типи природокористування. Проблема глобальних змін клімату проявляється як через підвищення температури атмосферного повітря, так і через збільшення погодних аномалій, в свою чергу, позначається на загальній екстремальності клімату. Ґрунтуючись на даних ВООЗ слід зазначити, що зміна клімату відбивається на формуванні екологічної небезпеки життєдіяльності людини, адже впливає на соціальні та природні фактори здоров'я, як то – незабруднене атмосферне повітря, якісну питну воду, достатню кількість продовольства, надійність будівель і споруд, тощо [1]. Так, приміром, за останні 130 років в світовому масштабі температура атмосферного повітря збільшилась приблизно на +1,1 ^{0}C, при чому значно прискорившись за останню чверть, перевищив +0,18 ^{0}C за десятиліття [2]. Невід'ємною

характеристикою сучасного клімату постають різноманітні погодні аномалії, здебільшого пов'язанні з опадами, їх нестачею або надлишком, зміною якості, що проявляється у вигляді посух, зливів, граду, паводків, тощо.

Таким чином, оцінювання змін клімату, має велике значення щодо забезпечення екологічної безпеки населення за умов стійкого розвитку регіонів, вибору найефективнішого типу природокористування з врахуванням особливостей конкретних екосистем.

Актуальність дослідження. Сучасні кліматичні зміни є одним із важелів еколого-соціо-економічного розвитку регіонів, актуальність якого пов'язана з напрямом та масштабністю впливів на навколишнє середовище, а також серйозністю очікуваних наслідків для населення. Необхідність аналізу показників клімату та подальших сценаріїв сформульована у Постанові Кабінету Міністрів України «Про кліматичну програму України» від 28 червня 1997 р. № 650, де клімат визнано одним із основних природних ресурсів, від якого залежать умови життя і діяльності людини, напрями і рівень розвитку економіки [3]; підкреслюється в Розпорядженні Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного плану заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату» від 18 серпня 2005 року № 346-р., який містить низку заходів, спрямованих на виконання міжнародних зобов'язань зі зміни клімату, перелік виконавців зазначених заходів та строки, протягом яких вони повинні бути виконані [4]; а також закріплено в Розпорядженні Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р [5]. Тому важливим підгрунтям реалізації стратегічних рішень щодо забезпечення екологічної безпеки населення за умов сталого розвитку виступає концептуальне осмислення змін клімату з подальшою розробкою ефективних механізмів попередження та/або адаптації до їх негативних наслідків. При аналізі регіональних проявів змін клімату для техногенно навантажених територій, приміром вивчення міського бризу конкретної урбоекосистеми, доцільно розрізняти антропогенну складову, пов'язану з викидами тих же парникових газів в межах міста, з від природної складової, зумовленої глобальними кліматичними змінами. Отже досить важливо встановити тенденцію зміни кліматичних показників техногенно ненавантажених територій для кожного регіону, бо, по-перше, буде відбивати прояви глобальних кліматичних змін для даної екосистеми, а, по-друге, виступатиме точкою відліку для оцінки впливу господарської діяльності людини на зміну клімату промислових агломерацій з високим модулем техногенного навантаження.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження проведено в рамках реалізації Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», прийнятий 28.02.2019 р., Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р [5], під час виконання у Придніпровській державній академії будівництва та архітектури НДР «Наукові основи забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених урбоекосистем» (державний реєстраційний номер 0121U10039120, 2021-2023 рр.). та міжнародної програми ERASMUS+, проєкту 101085133 – EUGREEN «Європейські практики Green Deal: уроки для України».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При проведенні оцінювання клімату, зазвичай, використовують такі метеорологічні показники, як температура атмосферного повітря, кількість опадів, вологість повітря, тощо. Проте, на екосистеми вони спричиняють комплексний вплив, який може бути як сприятливим, так і несприятливим для біоти, тому для діагностування кліматичних змін більш доцільно використовувати, розраховані на їх основі, інтегральні показники, як то гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК), індекс ефективності опадів (I_m), стандартизований індекс опадів (SPI), індекс посушливості клімату Мартона-Готмана (b), тощо.

ГТК (1937) характеризує поєднання водного та теплового режимів, він досить добре зарекомендував себе для загальної оцінки клімату з виділенням зон різного рівня вологозабезпеченості, фокусуючись на показниках за вегетаційний період, а саме кількості опадів, виражених у мм за період з температурами атмосферного повітря вище +10 ^{0}C до суми активних температур за той же період. Гідротермічний коефіцієнт Селянінова досить активно використовують в Україні при необхідності надання характеристики кліматичним умовам, на відміну від решти.

Метод оцінювання клімату S. Erinc (1984) ґрунтується на інтегральному показникові, що включає середньорічну максимальну температуру та річну загальну кількість опадів [6, 7]. Середньорічне максимальне значення температури зумовлює втрату води, яка надійшла з атмосферними опадами, на випаровування. У цьому методі оцінювання клімату визначається шляхом встановлення зв'язку між посухою та опадами.

Світовою метеорологічною організацією для оцінювання змін клімату рекомендовано використовувати стандартизований індекс опадів (SPI), який був запропонований McKee T.B. et al. (1993) та базується на використанні тимчасових рядів місячних сум опадів [8]. Тимчасові ряди опадів для розрахунку SPI

повинні бути досить довгими, щонайменше 30 років. В нашому випадку виборка складала 100 років. Як було встановлено SPI виявляє настання посухи значно раніше за інші показники [9].

Метод оцінювання зміни клімату за індексом посушливості (b) був представлений Де Мартонном (De Martonne, 1942), а потім переоцінений і вдосконалений Готманом [10]. Метод можна застосовувати для розрахунку як річного, так і місячного значення індексу посушливості. Річні значення індексу посухи розраховуються з урахуванням критеріїв середньорічної температури та річної суми опадів [7]. З іншого боку, для місячних оцінок місячні значення індексу посухи визначаються з використанням середньомісячної температури та місячних значень загальної кількості опадів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Проблема дослідження полягає в обгрунтуванні найбільш ефективного інтегрального показника для оцінювання змін клімату, як такого що буде відбивати комплексний характер цих змін та ступінь їх небезпеки для екосистем.

Методологічне або загальнонаукове значення. Для оцінювання зміни клімату техногенно ненавантаженої території Дніпропетровської області були взяті 100-річні виборки метеорологічних даних (температура, кількість опадів, вологість повітря) з метеорологічної станції Комісарівка Кам'янського (до 2020 р. П'ятихатського) району. Метеостанція Комісарівка є найстарішою в Дніпропетровській області, яка працювала навіть в карколомні періоди для нашої держави (1918-1920 рр., 1941-1943 рр.), що дає змогу повноцінно оцінити зміну клімату в ХХ-му столітті. Крім того, метеостанція Комісарівка знаходиться на достатньому віддалені від техногенно навантажених територій крупних промислових агломерацій м. Дніпро – близько 100 км, м. Кам'янське, м. Олександрія та м. Кривий Ріг – більше ніж 50 км, а це, в свою чергу, надає можливість уникнути локальних змін клімату, пов'язаних з «міськми бризами». Метеостанція Комісарівка першою фіксує всі небезпечні та стихійні гідрометеорологічні явища, які насуваються із заходу на Дніпропетровську область. Синоптичний індекс метеостанції Комісарівка – 33723.

Для визначення змін клімату за даними метеостанції Комісарівка Кам'янського (району Дніпропетровської області використовували наступні показники:

– температуру атмосферного повітря – по місяцям, за вегетаційний період та за рік;

– кількість опадів – по місяцям, за вегетаційний період та за рік;

– вологість атмосферного повітря – по місяцям, за вегетаційний період та за рік;

– стандартизований індекс опадів – за рік та за вегетаційний період;

– індекс ефективності опадів – за рік;

– індекс посушливості Мартона-Готмана – за рік.

Аналіз виборок показників температури атмосферного повітря, кількості опадів та вологості повітря за вегетаційний період та за рік **здійснювали методами математичної статистики, а саме визначали: мінімум, максимум, середнє значення, медіану, коефіцієнт ексцесу, коефіцієнт дисперсії, стандартне відхилення, розмах.** Для встановлення можливих зав'язків між показниками використовували кореляційний та аналіз.

Згідно методу S. Erinc (1984) індекс ефективності опадів (I_m) для екосистеми визначали за допомогою рівняння (1):

$$I_m = P / T_{om} \quad (1)$$

Де P – річна загальну кількість опадів, мм;

T_{om} – середньорічне максимальне значення температури.

Таблиця 1

Нормування значення Im

Межі I_m	Характеристика кліматичних умов
< 8	Повністю посушливі
8-15	Посушливі
15-23	Напівпосушливі
23-40	Напіввологі
40-55	Вологі
> 55	Дуже вологі

Середньорічне максимальне значення температури встановлювали наступним чином:

– зі 100-річної виборки брали максимальну місячну температуру для кожного року;

– з суми обраних температур визначали середнє значення.

Згідно з індексом ефективності опадів, визначеним за допомогою методу S. Erinc (1984), надавали характеристику кліматичних умов, користуючись табл. 1.

Процедура розрахунку SPI включала перетворення часових рядів опадів із застосуванням гамарозподілу, а потім нормування отриманих ймовірностей на стандартизований індекс опадів за формулою 2:

$$SPI = \left(\frac{X_i - \overline{x}}{\sigma} \right) \quad (2)$$

Де X_i – дані досліджуваного часового ряду опадів, x – середнє значення опадів притаманне для даного часового ряду, а σ – стандартне відхилення часового ряду опадів.

Встановлення вологості або посушливості клімату проводили згідно табл. 2.

Таблиця 2

Нормування значення SPI

Межі SPI	Характеристика кліматичних умов за наявністю опадів
2,0 < SPI ≤ MAX	Надзвичайно вологі
1,5 < SPI ≤ 2,0	Дуже вологі
1,0 < SPI ≤ 1,5	Середньо вологі
–1,0 < SPI ≤ 1,0	Нормальні
–1,5 < SPI ≤ -1,0	Середньо посушливі
–2,0 < SPI ≤ -1,5	Дуже посушливі
MIN < SPI ≤ -2,0	Надзвичайно посушливі

Індекс посушливості клімату Мартона-Готмана (b) визначали за формулою (3):

$$b = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P_Y}{T_Y} + 12 \cdot \frac{P_a}{T_a + 10} \right) \quad (3)$$

Де P_Y – загальна річна кількість опадів, мм;

T_Y – середньорічна температура, ^{0}C;

P_a – кількість опадів в самий посушливий місяць, мм;

T_a – середня температура самого посушливого місяця, ^{0}C.

Оцінювання змін клімату згідно індексу посушливості Мартона-Готмана проводили на підставі табл. 3.

Таблиця 3

Нормування значення b

Межі b	Характеристика кліматичних умов
b < 5	Надзвичайно вологі
5 ≤ b < 15	Дуже вологі
15 ≤ b < 20	Середньо вологі
20 ≤ b < 30	Нормальні
30 ≤ b < 59	Середньо посушливі
b > 59	Дуже посушливі

Викладення основного матеріалу. Клімат Кам'янського району відбиває загальні світові тенденції щодо змін. Навіть на території без чітко вираженого техногенного впливу (крупні промислові осередки віднесені від метеостанції більш ніж за 50 км) було зафіксовано зміни таких кліматичних показників як кількість атмосферних опадів, температура і вологість повітря за умов збільшення варіабельності починаючи з другої половини XX-го століття. Більш інформативними виявилися комплексні показники (індекс ефективності опадів, стандартизованй індекс опадів та індекс посушливості Мартона-Готмана), як такі що давали змогу виявити негативні кліматичні явища та оцінити екологічну небезпеку.

Як показав статистичний аналіз виборок за рік та за вегетаційний період, спостерігався значний розмах між максимальним і мінімальним значеннями, а саме мінімальне значення було майже в 10 разів менше за максимальне, що зумовлювалось сильним варіюванням кількості атмосферних опадів протягом XX-го століття, як за вегетаційний період, так і за рік (табл. 4). Медіана була трохи більша за середнє значення, що свідчило про незначну позитивну асиметрію виборок. Виборка за вегетаційний період характеризувалась плосковершинним розподіленням, тоді я к за рік, навпаки – гостровершинним. Асиметрія виборок була лівосторонньою чітко не вираженою.

Часовий тренд свідчив про збільшення кількості опадів протягом XX-го століття з максимумом, який приходився на період 1965-1980 рр. за умов значних перепадів між посушливими та сильно зволоженими роками. Річні коливання опадів на відрізку 1925-1953 були найменшими.

На відміну від показника – кількість атмосферних опадів, розмах по температурі атмосферного повітря був виражений значно в меншому ступені, перевищення максимального значення не досягало в 1,5 рази мінімального за вегетаційний період (табл. 4). Стосовно річної динаміки, то тут межі між

Таблиця 4

Характеристика виборки кліматичних даних метеостанції Комісарівка Кам'янського району Дніпропетровської області за 100-річний період

Показник	Атмосферні опади		Температура атмосферного повітря		Вологість атмосферного повітря	
	1	2	1	2	1	2
Мінімум	39,00	64,20	14,15	4,96	54,00	68,10
Максимум	388,30	720,50	20,62	14,90	80,00	90,00
Середнє	229,33	435,93	17,51	8,10	65,23	75,15
Медіана	233,50	441,10	17,50	8,20	65,20	75,00
Ексцес	-0,268	0,982	0,217	7,445	0,007	2,352
Асиметрія	-0,062	-0,067	-0,037	1,129	0,274	0,986
Стандартне відхилення	72,832	120,068	1,193	1,274	5,214	3,639
Дисперсія	5304,456	14416,379	1,423	1,623	27,185	13,243
Розмах	349,30	656,30	6,47	9,94	26,00	21,90

Примітка: 1 – за вегетаційний період; 2 – за рік.

мінімальним і максимальним значенням були набагато ширші. Середнє значення майже співпадало з медіаною по виборці за вегетаційний період, тобто відповідало закону нормального розподілу. У виборці за рік просліджувалась незначна від'ємна асиметрія. Згідно коефіцієнту ексцесу гостровершинне розподілення було більше виражена по виборці за рік, чим за вегетаційний період. Спостерігалась лівостороння симетрія для виборки за вегетаційний період і правостороння – для виборки за рік, проте в обох випадках не чітко виражена.

Середньорічна температура атмосферного повітря поступово підвищувалась протягом XX-го століття. Проте показовими будуть коливання температур по граничним місяцям переходу через 0 ^{0}C, а саме, листопад, грудень, березень і квітень, по яким спостерігалось збільшення температури до 1,0-1,2 ^{0}C.

Відносно показника вологість атмосферного повітря, розмах між мінімальним та максимальним значенням був більше виражений по виборці за вегетаційний період, чим за рік (табл. 4). Середнє значення досить сильно тяжіло до медіани з слабко вираженим правостороннім розподілом виборки даних за XX-те століття. Коефіцієнт ексцесу відповідав закону нормального розподілу для виборки вологості атмосферного повітря за вегетаційний період, проте за рік крива мала гостровершинне розподілення. Як за вегетаційний період, так і за рік виборки характеризувались нечітковираженою правосторонньою асиметрією.

Спостерігалась тенденція до зниження вологості атмосферного повітря та зменшення строкатості середньорічних значень від початку до кінця XX-го століття.

Середньорічні значення вологості атмосферного повітря були прямопропорційні кількості опадів та зворотно пропорційні температурі, коефіцієнт кореляції відповідно 0,3755 та -0,354.

Інтегральні показники клімату, чітко відбивали правило взаємодії екологічних факторів та надавали комплексну характеристику небезпеки для екосистем внаслідок його зміни.

Тенденція зміни клімату за I_m свідчила про збільшення атмосферних опадів, особливо в діапазоні 1960-1980 рр., за умов незначного підвищення температури починаючи з 1985 р. (рис. 1). Протягом 100 років лінійний тред перетинав категорії «посушливий рік», «напівпосушливий рік» до «напіввологий рік», проте вологих і дуже вологих років протягом XX-го століття на метеостанції Комісарівка зафіксовано не було. Досить широкі коливання значень цього комплексного показника були притаманні категоріям «посушливий рік», «напівпосушливий рік» та «напіввологий рік» (табл. 5).

Згідно отриманих значень SPI, протягом XX-го століття постерігалась чітко виражена тенденція щодо збільшення зволоження, здавалося тільки в межах категорії «нормальні кліматичні умови», проте від нижнього до верхнього її значення (рис. 2), що потребує додаткового дослідження в подальшому, адже

існує вірогідність відносно перетину категорії «середньо вологі» роки на теперішній час. Крім того, значення SPI змінювалось в досить широких межах та сягало всіх категорій від надзвичайно посушливих до надзвичайно вологих років (табл. 6). Серед недоліків донного показника слід відмітити, що він ґрунтується тільки на кількості опадів в межах часового ряду, а це, призводить до неможливості визначення комплексного дії кліматичних факторів на екосистему, адже нестачу або надлишкове зволо-

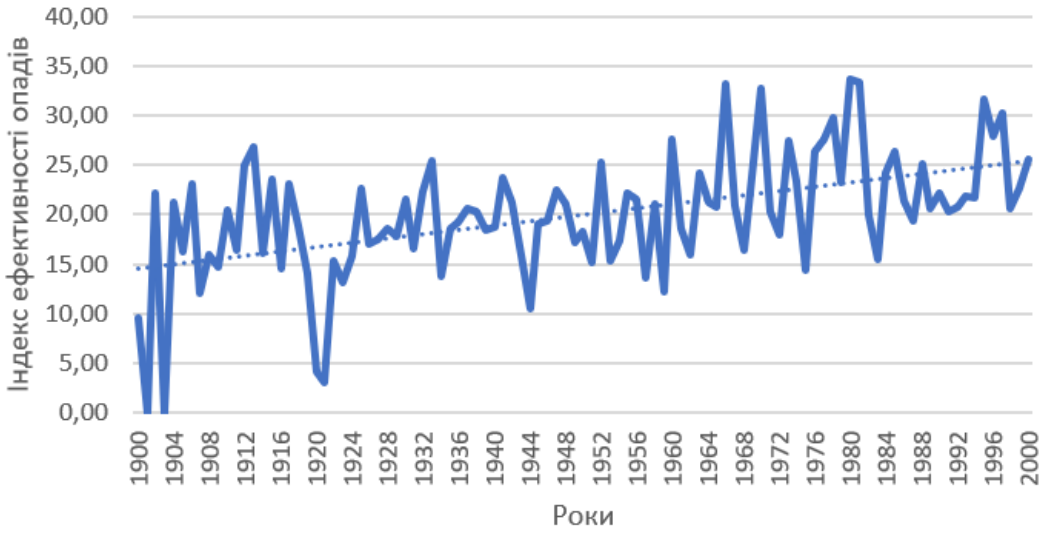


Рис. 1. Тенденція зміни індексу ефективності опадів

Таблиця 5

Індекс ефективності опадів за даними метеостанції Комісарівка, XX-те століття

Показник	Повністю посушливий рік < 8	Посушливий рік 8-15	Напівпосушливий рік 15-23	Напіввологий рік 23-40
Середнє	3,58	12,97	19,21	26,88
Мінімум	3,00	9,58	15,22	23,04
Максимум	4,16	14,68	22,67	33,67
Відсоток у виборці, %	2	11	59	28

Таблиця 6

SPI за даними метеостанції Комісарівка Вишнівської громади П'ятихатського району Дніпропетровської області, XX-те століття

Показник	2,0< SPI≤ max	1,5< SPI≤ 2,0	1,0< SPI≤ 1,5	-1,0< SPI≤ 1,0	-1,5< SPI≤ -1,0	-2,0< SPI≤ -1,5	min< SPI≤ -2,0
За рік							
Середнє	2,234	1,717	1,204	-0,012	-1,201	-1,841	-2,992
Мінімум	2,007	1,674	1,061	-0,917	-1,485	-1,922	-3,095
Максимум	2,370	1,759	1,338	0,936	-1,013	-1,760	-2,888
Відсоток у виборці, %	5	2	7	73	9	2	2
За вегетаційний період							
Середнє	2,118	1,743	1,257	-0,060	-1,165	-1,760	-2,482
Мінімум	2,052	1,516	1,023	-0,993	-1,352	-1,935	-2,614
Максимум	2,184	1,907	1,473	0,974	-1,021	1,641	2,350
Відсоток у виборці, %	2	4	13	65	10	4	2

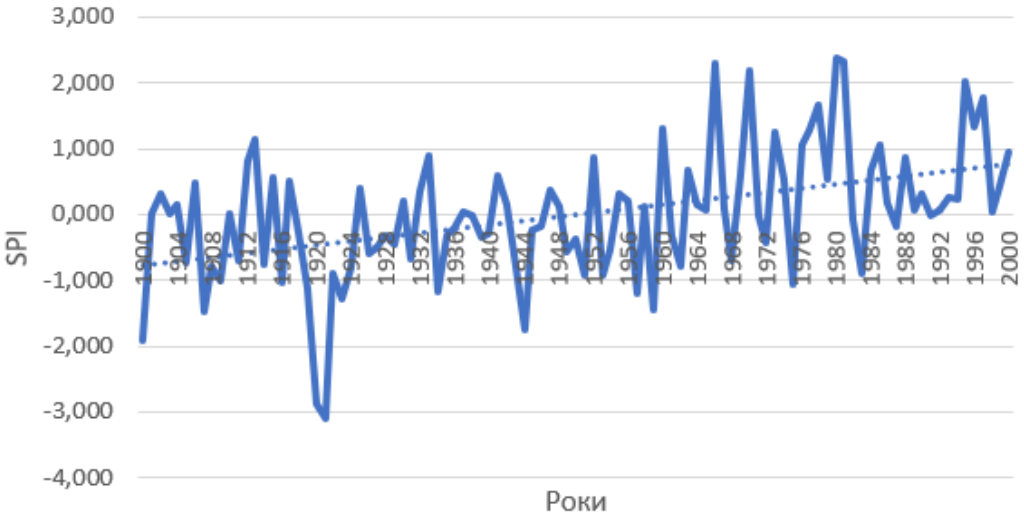


Рис. 2. Тенденція зміни стандартизованого індексу опадів

ження слід розглядати разом з температурою. Вплив на біоту даних показників буде досить сильно відрізнятись відбиваючись на посиленні продуктивності екосистеми при сумісному збільшенні та наявністю посухи – при підвищенні температури та зменшенні кількості атмосферних опадів.

Позитивним моментом використання індексу посушливості Мартона-Готмана є не тільки врахування середніх значень, а й крайніх проявів кліматичних змін – значень показників відносно самого теплого місяця. Лінійний тренд починаючи з категорій «напівпосушливість» пряму-

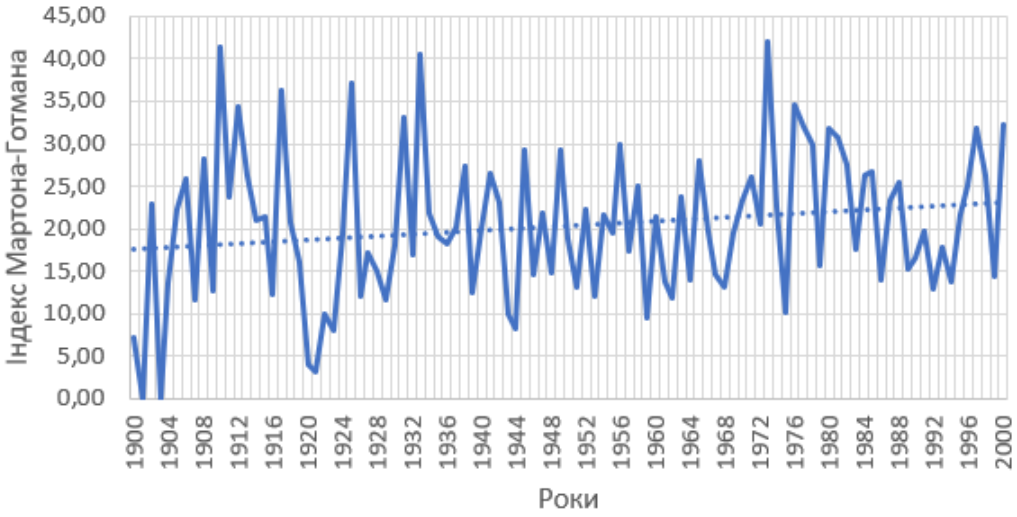


Рис. 3. Тенденція зміни індексу Мартона-Готмана

Таблиця 7

Індекс посушливості Мартона-Готмана за даними метеостанції Комісарівка, XX-те століття

Показник	Крайня посушливість $b \leq 5$	Посушливість $5 \leq b \leq 15$	Напівпосушливість $15 \leq b \leq 20$	Недостатня вологість $20 \leq b \leq 30$	Вологість $30 \leq b \leq 60$
Середнє	3,54	12,19	17,93	24,43	35,20
Мінімум	3,11	7,12	15,27	20,00	30,67
Максимум	3,97	14,97	19,80	29,92	41,41
Відсоток у виборці, %	2	28	18	39	13

вав до категорії «недостатня вологість» (рис. 3). Найменше варіювання значень індексу посушливості Мартона-Готмана зафіксовано в крайніх категоріях «крайня посушливість» та «вологість» (табл. 7). Підвищення екстремальності клімату, як то чередування посух зі зливами, призводило до збільшення значення b.

Головні висновки. Проведено статистичний аналіз кліматичних показників (температура атмосферного повітря, кількість опадів, вологість), кореляційних залежностей між ними не виявлено. Встановлено тенденцію зміни клімату техногенно неневантаженої території Дніпропетровської області за допомогою показників (I_m, SPI та b), що позначалось через переважання збільшення кількості опадів над підвищенням температури та свідчило про більшу вологість клімату наприкінці XX-го століття порівняно з початком. Ґрунтовно доведено ефективність використання I_m та b для оцінювання змін клімату з врахуванням закону взаємодії екологічних факторів, а саме кількості опадів і температури, порівняно з стандартизованим індексом опадів.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати досліджень можуть бути використані при обґрунтуванні включення показників I_m та b до системи моніторингу для комплексного оцінювання небезпеки зміни клімату для екологічних систем.

Література

1. WHO's 10 calls for climate action to assure sustained recovery from COVID-19 / URL: https://www.who.int/news/item/11-10-2021-who-s-10-calls-for-climate-action-to-assure-sustained-recovery-from-covid-19
2. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Eds. 2022. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
3. Постанова Кабінету Міністрів України «Про кліматичну програму України» (Кліматична програма) від 28 червня 1997 р. № 650. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-97-%D0%BF#Text
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національного плану заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату» від 18 серпня 2005 року № 346-р.//zakon.rada.gov.ua/laws/show/346-2005-%D1%80#Text

5. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року» від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text
6. Erinç, S. Klimatoloji ve Metotları. İstanbul: Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Yayınları. 1984. 540 p.
7. Baykal, T. M., Colak, H. E. Producing climate boundary maps using GIS interface model designed with Python. Progress in Physical Geography Earth and Environment. 2022. №. 46(1). https://doi.org/10.1177/03091333211033223
8. Rolbiecki R., Yücel A., Kociecka J., Atilgan A., MarkovicM., Liberacki D. Analysis of SPI as a drought indicator during the maizegrowing period in the Çukurova Region (Turkey). Sustainability 2022. №. 14.3697. https://doi.org/10.3390/su14063697
9. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. A drought climatology for Europe.International Journal of Climatology. 2002. Vol. 22. №. 13. P. 1571-1592. https://doi.org/10.1002/joc.846
10. De Martonne E. Nouvelle carte mondial de l'indice d'aridité. Annales de Géographie. 1942. Vol. 51(288). P. 241-250.

ЕКОПУБЛІЦИСТИКА

УДК 504
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.33

ЕКОЦИД: ЕКОЛОГІЧНИЙ ТЕРОРИЗМ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА СУСПІЛЬНУ СВІДОМІСТЬ У ФОРМАТІ ВІЙНИ

Фінін Г.С.
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ
dei2005@ukr.net

Глобальні тектонічні зміни існуючої системи світового порядку сталися 24 лютого 2022 року внаслідок розпочатої росією повномасштабної війни проти України. Цілі війни, які задекларував російський диктатор, є абсолютно безглуздими, не відповідаючи реальним причинам нового світового збройного протистояння між тоталітарною і демократичною системами соціального устрою суспільства. Це війна – терористична, спрямована на знищення державності України разом з мирним населенням, військом, інфраструктурою тощо. Визначальною особливістю цієї війни є те, що терористом виступає не окрема група людей, об'єднаних на засадах релігійних, етнічних, політичних, економічних чи інших мотивах, а безпосередньо сама держава. Отже, це державний різновид парадигми тероризму. І саме тому війна рф – країни – агресорки проти України має переважні ознаки світового збройного протистояння, в орбіту якого долучається все більша кількість країн на різних континентах земної кулі. На жаль, не всі вони займають чіткі позиції протидії агресії.

Будь – які прояви тероризму, а особливо тероризму державного, мають домінантний руйнівний вплив на різні сфери суспільного життя – політичну, економічну, соціальну, духовну, формуючи загрозу національній безпеці України в суспільній, воєнній, екологічній, кібернетичній та ядерній царинах життєдіяльності. Стає очевидним, що ворог має набагато більш глобальні цілі, ніж захоплення України. Усвідомлення такого факту багатьма країнами демократичного табору дає підстави вірити на повну поразку російської федерації у розв'язаній нею варварській, безглуздій воєнній операції.

На превеликій жаль, війна на сьогодні знаходиться у фазі розпалу і робити будь-які прогнози чи висновки щодо її закінчення – справа цілком непроста. Але понад рік активних бойових дій дозволяють підбити попередні узагальнюючі підсумки поточної ситуації.

Зазначу, що людство, незважаючи на істотні революційні досягнення в галузях науки, техніки і технологій, залишається у соціальному сенсі у періоді варварства. Інститут людини є фактично незрозумілим та досконало невивченим. Колосальні людські жертви попередніх воєн не призвели до усвідомлення цінності життя, як окремої категорії, не сформували колективного гуманістичного світогляду, не створили реально дієві інститути колективної безпеки.

Військова анексія російською федерацією Криму у 2014 році, всупереч усім існуючим нормам міжнародного права, брутально порушила статускво державних кордонів, що були визначені за результатами другої світової війни. Отже, була зруйнована, існуюча на той час, світова система колективної безпеки. Країни демократичного табору не вжили дієвих заходів протидії нічим не викликаній агресії, а лише висловили глибоке занепокоєння з приводу того, що відбулося. Це створило всі необхідні умови для того аби у 2022 році розпочати росією широкомасштабне вторгнення в Україну. І знову світові безпекові інституції, сформовані для протидії військовій агресії, виявилися недієвими та морально застарілими. Особливо це проявляється у діяльності ООН, де у Раді безпеки місяць головувала країна-агресорка. Тобто безпекою опікується той, хто саме розв'язав і веде війну. Пояснюють тим, що це передбачено Статутом і процедурою. Дивна варварська логіка, коли вбивати дітей можна, а змінити процедуру – неможна. Як наслідок, рф підриває Каховську ГЕС, вчинивши акт жахливого екоциду, що спричинило затоплення значних територій Херсонської та Миколаївської областей. За нормами міжнародного права, руйнівні дії такого масштабу, спрямовані на завдання шкоди мирному населенню, кваліфікуються як військовий кримінальний злочин, що дорівнює застосуванню зброї масового ураження. І знову ООН лише висловлює сумнів та жаліється на брак інформації. Такі дії не є просто марними. Вони легітимізують саму агресію. Теж саме стосується й діяльності Організації безпеки і співробітництва в Європі (ОБСЄ), Міжнародного червоного хреста, МАГАТЕ. Світ став гранично техногенно небезпечним, коли диверсія може призвести до глобальної катастрофи регіонального чи світового виміру. Це

засвідчує й те, як поводяться російські війська на захопленій ними АЕС. В умовах гібридної війни всі техногенно та екологічно небезпечні об'єкти стають чинниками шантажу світового суспільства, задіяними як складові військових операцій.

Розв'язана росією повномасштабна війна проти України спричинила виникнення надпотужної безпекової кризи світового співтовариства. Для подолання наслідків цієї кризової ситуації потрібні негайні радикальні дії по кардинальній принциповій зміні існуючих безпекових інституцій. Стало очевидним, що побудова системи безпеки, яка ґрунтується на інтегральних колективних механізмах прийняття рішень, не відповідає викликам сьогодення. Навіть такі успішні та ефективні об'єднання як Євросоюз та НАТО, занадто повільно приймають рішення по протидії державному тероризму, і за це доводиться платити сотнями тисяч людських життів.

Сучасний світовий устрій має ознаки переходу від багатовекторності до глобальної біполярності. Світ поступово поділяється на сфери впливу між двома полюсами. З одного боку країни з тоталітарним правлінням, з іншого – з демократичним. Розпочата росією 24 лютого 2022 року військова агресія по суті є війною тоталітаризму проти демократії.

Ґенеза тоталітарного суспільного устрою дуже влучно сформульована Джорджем Орвеллом в романі-антиутопії «1984» у формі двозначних гасел. Війна – це мир. Підтвердження такої тези наявно підтвердилось розв'язаною рф повномасштабною війною проти України. Свобода – це рабство. Сучасна свобода громадян рф – це можливість йти воювати та помирати за вельми невизначені і незрозумілі їм цілі. Незнання – сила. Освічена культурна людина навряд дозволить перетворити себе на раба. Теперішній російський диктатор збагатив цей ряд новим гаслом. Смерть – це життя. Він повідомив своїм громадянам, що все одно вони помруть від надмірного споживання, приміром, горілки, тож набагато краще віддати своє життя за нього. І громадяни росії сприйняли цю тезу за цілком нормальну та слушну. Позначимо ще один феномен сучасного громадянського суспільства рф. Це швидкість з якою воно відмовилось від сповідування демократичних світових цінностей та перейшло на рейки тоталітарної ідеології. Ще на початку правління теперішнього диктатора суспільство рф було цілком демократичним. Тобто для такого ідеологічного викривлення масової свідомості громадян було достатньо неповних двадцять років, що можливе лише у посттоталітарних, малоосвічених спільнотах з низьким рівнем масової культури. Для очільників тоталітарної держави влада не є засобом зробити ліпшим та щасливішим життя громадян своєї країни. Влада – це і є ціль. Тобто, розв'язана війна не має на меті задекларовані денацифікацію і демілітаризацію, чи навіть захоплення нових територій. Це війна за владу над світовими просторами, наскільки це буде можливо і дозволено здійснити. Тому ніякі обмеження конвенційного чи гуманістичного характеру для країни, що розв'язала війну, не існують. Зважаючи на це, світовому демократичному співтовариству, а Україні – в першу чергу, треба передбачати протидію агресії у найгіршому сценарії її розвитку.

Як це не прикро визнавати, але рф не почуває себе одинокою під час ведення війни проти України, маючи певну підтримку держав з тоталітарною формою правління. Китай, маючи свої власні інтереси, допомагає рф (за інформацією різних джерел) постачанням товарів подвійного призначення та комплектуючими деталями, Іран постачає ударні дрони та ракети. Особливе місце в цьому ганебному ряду займає Білорусь. З самого початку бойових дій білоруський режим надав свою територію російським військам для нападу на Україну. Продовжує це робити й тепер, надаючи свої аеродроми для російських бомбардувальників, що бомблять Українські міста та села. Надзвичайно небезпечне розміщення ядерної зброї на території Білорусі, всупереч всім існуючим міжнародним конвенціям, що, власне, формує нову терористичну ядерну реальність. Не варто західним лідерам помилятися з цього приводу. Допомагаючи Україні, вони, в першу чергу, захищають свої власні країни, на превеликий жаль, ціною загибелі військових та цивільних громадян України. Але такими є реалії сьогодення. Зазначу, що існуючі на сьогодні колективні правила прийняття безпекових рішень, у тому числі і щодо забезпечення України різноманітними видами сучасного озброєння, є морально застарілими, не відповідають викликам часу та досить часто гальмують швидкість його постачання. Плата за згаяний час – людські життя, в тому числі й дитячі. Отже, найдоцільніше – це укладання прямих угод про спільну оборону між Україною та іншими країнами, наприклад, як це зробили США та Тайвань. Проте реалії такі, що ніхто поки не готовий і не поспішає до таких дій.

Державний тероризм, що здійснює рф проти України, має гібридний характер і передбачає застосування всіх видів зброї, як конвенційної, так і будь-яких інших засобів масового ураження. Чи застосує рф у війні ядерну зброю? Напряму – мало ймовірно, бо це спричинить безпосередню загрозу фізичному існуванню особисто диктатору країни – агресорки. Цілком зрозуміло, що життя та здоров'я пересічних громадян під час ведення бойових дій російським політичним та військовим керівництвом до уваги не береться. Тому вже застосовані і будуть задіяні у подальшому всі засоби, що викликають екоцид – масове знищення рослинного і тваринного світу, отруєння атмосфери та водних ресурсів, а також вчинення будь-яких дій, що спричиняють екологічну катастрофу. У тому числі масове ураження населення. Це наочно засвідчується захопленням російськими військовими атомних електростанцій з подальшим розташуванням безпосередньо на тери-

торії енергоблоків вибухівки та інших видів зброї. Підрив греблі Каховської ГЕС викликав затоплення величезних територій Херсонської та Миколаївської областей, знищив унікальну систему зрошення, перетворив ці області на зону екологічного лиха. Родючі землі півдня України трансформуються у засолену та заболочену пустелю, непридатну для ведення сільського господарства. Згодом виникне дефіцит води як питної, так і для наповнення ставка-охолоджувача Запорізької АС. З'являється реальна загроза радіаційного забруднення надвеликих територій і не тільки українських.

Цілком очевидно, що руйнівна великомасштабна війна на терені України має і яскраво виражений екоцид. Протидіяти загрозам такого типу, іх масштабу досить важко. Та, перш за все, таке лихо торкнеться саме України. Зараз вже бракує часу здійснювати наукові дослідження, проводити міжнародні конференції і симпозіуми, обговорювати доцільність заходів збереження і відтворення природного довкілля. Треба діяти швидко і рішуче. Негайно провести загальний екологічний аудит. З'ясувати всі існуючи екологічно небезпечні об'єкти та оновити їх державний реєстр. Особливу увагу приділити ядерним об'єктам, підприємствам хімічної промисловості, водного господарства. Для виконання такої роботи треба підготувати необхідну кількість кваліфікованих екологічних аудиторів, поповнивши їх знання на курсах підвищення кваліфікації та засвідчивши рівень знань відповідним Свідоцтвом державного зразка. Правові та організаційні засади державних екологічних аудиторів визначає Закон України Про екологічний аудит. Цей закон необхідно доповнити вимогами до аудиту в умовах екоциду, спричиненого воєнними діями рф. Для кожного з виявлених при аудиті екологічно небезпечного об'єкта треба розробити відповідний регламент рятувальних та відновлювальних робіт на випадок критичної ситуації. Виконання таких робіт заздалегідь повинно бути забезпечено необхідними матеріалами та технічними засобами, а також штатним розкладом робітників. Крім того треба розробити и довести до населення план дій при виникненні критичної ситуації. А головне забезпечити реальне виконання такого плану. Робота ця дуже важка, копітка та витратна. Але вкрай потрібна. Як виняток, необхідно бути готовим й до гіршого збігу обставин – до довготривалої виснажливої війни, передбачаючи сценарій її розвитку. Необхідно розробити та впровадити систему розмінування звільнених територій, з урахуванням екологічної складової, як це означено в статуті НАТО, особливу увагу приділити облаштуванню існуючих та будівництву нових бомбосховищ та укриттів.

Російсько – українська війна зумовлює необхідність доповнення Закону України « Про стратегічну екологічну оцінку», розширивши його норми екоцидною складовою. Тобто, необхідно під час майбутньої відбудові та відновлення країни передбачити всі можливі екологічні ризики. Теж саме стосується Закону України про оцінку впливу на довкілля. Як ніколи раніше стає актуальним вислів: «Хочеш миру – готуйся до війни».

Сформовані загрози та виклики екологічного тероризму, як наслідок жорстокої руйнівної російсько – української війни, неможливо подолати одноосібно, без залучення широкої міжнародної коаліції. Таку допомогу Україна отримує у вигляді зброї для ведення бойових дій, коштів для підтримки економіки та соціальних виплат населенню. Але на сьогодні вкрай важливою стає допомога західних країн для протидії екоциду, що принесло на землю України російське військо. Донесення до свідомості лідерів та пересічних громадян країн демократичного табору необхідності такої допомоги, очевидно належить інститутам громадянського суспільства. Роль громадянського суспільства під час війни неможливо переоцінити. Вона істотно змінилася в порівнянні з мирним часом, відтворившись у вигляді формувань територіальної оборони та різноманітних волонтерських рухів та фондів. Тепер настав час протидіяти екоциду. Віримо в Перемогу над країною – агресоркою. Для її досягнення разом докладемо усіх зусиль. Народ України Переможе!

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бакалова Алла Володимирівна (Житомир) – кандидат сільськогоподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Баркар Валентина Юріївна (Миколаїв) – гідролог відділу морських гідрометеорологічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Бешевець Юлія Володимирівна (Миколаїв) – технік-гідролог І категорії відділу морських гідрометеорологічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології; здобувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Бондар Маргарита Василівна (Миколаїв) – технік-океанолог І категорії відділу морських гідрометеорологічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Бондар Олександр Іванович (Київ) – доктор біологічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України, ректор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Бургаз Марина Іванівна (Одеса) – кандидат біологічних наук, доцент, завідувачка кафедри водних біоресурсів та аквакультури, Одеський державний екологічний університет;

Бургаз Олексій Анатолійович (Одеса) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екологічного права і контролю, Одеський державний екологічний університет;

Валерко Руслана Анатоліївна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Вергеліс Вікторія Ігорівна – асистент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Воронова Наталія Валентинівна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Гафіяк Ольга Василівна (Ужгород) – аспірантка кафедри ентомології та збереження біорізноманіття, Ужгородський національний університет;

Герасимчук Людмила Олександрівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології, Поліський національний університет;

Горбань Валерій Віталійович (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Грицюк Наталія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогоподарських наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Гуляєв Віталій Михайлович (Кам'янське) – доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України, ректор, Дніпровський державний технічний університет;

Демчук Людмила Іванівна (Житомир) – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Дмитренко Тетяна Володимирівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Дмитрієва Олена Олексіївна (Харків) – доктор економічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Домбровський Костянтин Олегович (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Дрозд Олена Миколаївна (Харків – Сарагоса, Іспанія) – кандидат сільськогоподарських наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Investigadora visitante, Estación Experimental de Aula Dei, Zaragoza, España;

Дударєва Галина Федорівна (Запоріжжя) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології лісу, мисливствознавства та іхтіології, Запорізький національний університет;

Дядін Дмитро Володимирович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Ємельянов Сергій Петрович (Харків) – науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Жадько Оксана Андріївна (Луцьк) – аспірант кафедри туризму та готельно-ресторанної справи, Луцький національний технічний університет;

Загороднюк Костянтин Юрійович (Київ) – кандидат медичних наук, магістр екології, інженер-технолог, завідувач кафедри водних екосистем і біоресурсів, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Загороднюк Юрій Вікторович (Київ) – лікар-епідеміолог, інженер-еколог, голова правління, Громадська організація «Фонд розвитку водоочисних технологій»;

Замрій Маргарита Володимирівна (Миколаїв) – метеоролог відділу морських гідрометеорологічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Замуруєва Катерина Миколаївна (Миколаїв) – провідний гідролог відділу морських гідрометеорологічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Іванов Євген Анатолійович (Львів) – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Іванців Василь Володимирович (Луцьк) – кандидат історичних наук, завідувач кафедри екології, Луцький національний технічний університет;

Іващенко Ірина Вікторівна (Житомир) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри здоров'я фітоценозів і трофології, Поліський національний університет;

Калініченко Олександр Олександрович (Київ) – студент ІІ курсу магістратури факультету хімічних та біофармацевтичних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну;

Кірейцева Ганна Вікторівна (Житомир) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Клімов Ігор Олегович (Одеса) – магістрант кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Ковров Олександр Станіславович (Дніпро) – доктор технічних наук, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Козлов Андрій Володимирович (Хорол) – учитель історії і географії, Опорний заклад «Хорольський заклад загальної середньої освіти І-ІІІ ступенів № 1 Хорольської міської ради Лубенського району Полтавської області»;

Корніюк Артур Вікторович (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Коротецький Василь Павлович (Київ) – проректор з адміністративно-господарської роботи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Котляр Микола Миколайович (Київ) – студент ІІ курсу магістратури факультету хімічних та біофармацевтичних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну;

Котюк Людмила Анатоліївна (Житомир) – доктор біологічних наук, професор кафедри екології, Поліський національний університет;

Красовський Володимир Васильович (Хорол) – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, директор, Хорольський ботанічний сад;

Красовський Сергій Анатолійович (Дніпро) – аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» та Технічний університет «Фрайберзька гірнича академія»;

Кротов Сергій Анатолійович (Одеса) – директор, Нижньодністровський національний природний парк;

Крупєй Кристина Сергіївна (Запоріжжя) – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри мікробіології, вірусології та імунології, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Літвак Ольга Анатоліївна (Миколаїв) – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Літвак Сергій Михайлович (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Ліщина Вікторія Дмитрівна (Харків) – провідний гідрогеолог, Товаритсво з обмеженою відповідальністю «Лабораторія якості води «ПЛАЯ»»;

Ломакіна Ольга Сергіївна (Харків) – старший викладач кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Лопушанська Марія Романівна (Львів) – аспірантка кафедри конструктивної географії і картографії, Львівський національний університет імені Івана Франка;

Лукашевич Дар'я Сергіївна (Харків) – студентка IV курсу, Навчально-науковий інститут будівельної та цивільної інженерії Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Лукіша Віталій Васильович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, професор кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Магась Наталія Іванівна (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Маринець Олександр Миколайович (Миколаїв) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Маслак Валерія Ігорівна (Київ) – студентка ІІ курсу магістратури факультету хімічних та біофармацевтичних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну;

Машков Олег Альбертович (Київ) – професор кафедри екологічної безпеки, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мельник-Шамрай Вікторія Вікторівна (Житомир) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Мельнік Людмила Василівна (Харків) – науковий співробітник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Миколайчук Олександр Валерійович (Житомир) – студент І курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Мовчан Микола.Михайлович (Київ) – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач кафедри заповідної справи та рекреаційної діяльності, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Мошинський Віктор Степанович (Рівне) – доктор сільськогосподарських наук, професор, Заслужений працівник освіти України, ректор, Національний університет водного господарства та природокористування;

Муляр Анастасія Павлівна (Житомир) – студентка І курсу магістратури факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Наконечний Ігор Володимирович (Миколаїв) – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екології та природоохоронних технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Новіков Марк Григорович (Бостон, США) – доктор технічних наук, професор, голова Експертної (наукової) ради, Громадська організація «Фонд розвитку водоочисних технологій»;

Оверченко Анна Валеріївна (Запоріжжя) – студент ІІ курсу магцустратури ІІ медичного факультету, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет;

Оводенко Тамара Сергіївна (Київ) – аспірантка кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Охмат Олена Анатоліївна (Київ) – кандидат технічних наук, доцент кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну;

Пасічник Сергій Валентинович (Ніжин) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя;

Пацева Ірина Григорівна (Житомир) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Печений Володимир Леонідович (Київ) – аспірант кафедри екологічного аудиту та експертизи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Полятикіна Ольга Олексіївна (Київ) – аспірантка, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України;

Присяжний Володимир Ілліч (Київ) – начальник, Національний центр управління та випробувань космічних засобів;

Притула Наталія Михайлівна (Запоріжжя) – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Рильський Олександр Федорович (Запоріжжя) – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоології, Запорізький національний університет;

Риндюк Сергій Іванович (Миколаїв) – провідний океанолог відділу морських гідрометеоролічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Свергуненко Анна Сергіївна (Харків) – аспірантка кафедра інженерної екології міст, Навчально-науковий інститут будівельної та цивільної інженерії Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

Симочко Людмила Юріївна (Ужгород) – доцент кафедри ентомології та збереження біорізноманіття, Ужгородський національний університет;

Сорочинська Олена Леонідівна (Київ) – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Державний університет інфраструктури та технологій;

Стаднік Вероніка Юріївна (Харків) – здобувач, аспірантка кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Сталінська Ірина Вікторівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Степанов Євгеній Вікторович (Ніжин) – аспірант кафедри біології, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя;

Строкаль Віта Петрівна (Київ) – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри екології агросфери та екологічного контролю, Національний університет біоресурсів і природокористування України;

Сушко Злата Леонідівна (Дніпро) – магістр кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»;

Тарасюк Галина Миколаївна (Житомир) – доктор економічних наук, професор, декан факультету бізнесу та сфери обслуговування, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Телюра Наталя Олександрівна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова;

Тихомирова Тетяна Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Ткачук Олександр Петрович (Вінниця) – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Вінницький національний аграрний університет;

Федонюк Віталіна Володимирівна (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Луцький національний технічного університет;

Федонюк Микола Ананійович (Луцьк) – кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Луцький національний технічний університет;

Филипчук Віктор Леонідович (Рівне) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, Національний університет водного господарства та природокористування;

Фінін Георгій Семенович (Київ) – доктор фізико-математичних наук, професор, перший проректор з науково-педагогічної роботи, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління;

Хоменко Світлана Володимирівна (Житомир) – аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Хоренженко Галина Володимирівна (Миколаїв) – начальник відділу морських гідрометеоролічних спостережень, Миколаївський обласний центр з гідрометеорології;

Цапко Наталія Сергіївна (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач лабораторії еколого-токсикологічних досліджень впливу антропогенного забруднення на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»;

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович (Житомир) – аспірант, асистент кафедри екології та природоохоронних технологій, Державний університет «Житомирська політехніка»;

Черняк Таїсія Василівна (Хорол) – завідувач сектору дендрології, розмноження рослин та еколого-освітньої діяльності, науковий співробітник, Хорольський ботанічний сад;

Чернякова Оксана Іванівна (Одеса) – старший викладач кафедри екології та охорони довкілля, Одеський державний екологічний університет;

Члек Олексій Миколайович (Житомир) – студент IV курсу факультету лісового господарства та екології, Поліський національний університет;

Чугай Ангеліна Володимирівна (Одеса) – доктор технічних наук, професор, декан природоохоронного факультету, Одеський державний екологічний університет;

Шамрай Володимир Ігорович (Житомир) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничих технологій та будівництва імені професора Бакка М.Т., Державний університет «Житомирська політехніка»;

Шевчук Сергій Анатолійович (Київ) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач сектору гідрографії відділу гідрології та Державного водного кадастру, Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського;

Шестопалов Олексій Валерійович (Харків) – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Юнгін Ольга Сергіївна (Київ) – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну; старший науковий співробітник, Інститут молекулярної біології і генетики Національної академії наук України; докторантка, Університет Вітовта Великого;

Яковишина Тетяна Федорівна (Дніпро) – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури;

Яковлєв Валерій Володимирович (Харків) – доктор геологічних наук, доцент, професор кафедри інженерної екології міст, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

НОТАТКИ

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНІ НАУКИ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ **4(49)**

- ***Екологічні наслідки воєнних дій***
- ***Екологічний моніторинг***
- ***Екологія водних ресурсів***
- ***Екологія і виробництво***
- ***Екологія та економіка природокористування***
- ***Поводження з відходами***
- ***Загальні проблеми екологічної безпеки***
- ***Природно-заповідний фонд України***
- ***Збереження біологічного та ландшафтного різноманіття***
- ***Зміна клімату***
- ***Екопубліцистика***

Адреса редакції:
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, Київ, 03035;
тел. +380 99 428 67 00;
www.ecoj.dea.kiev.ua
e-mail: info@ecoj.dea.kiev.ua

Видавничий дім «Гельветика»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.
Україна, 65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua

Підписано до друку 28.04.2023. Формат 64x84/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Ум. друк. арк. 29,53. Тираж 100. Замовлення № 0823/529.
Ціна договірна. Віддруковано з готового оригінал-макета